



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO COMPUTACIONAL BASADO EN
INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA REPRESENTACIÓN DEL BOTERISMO
EN OBJETOS Y SERES VIVOS**

**JUAN DAVID ALONSO SIERRA
DAVID LEONARDO CASTAÑO SAAVEDRA**

**MODALIDAD
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
BOGOTÁ, D. C. 17 DE MAYO DE 2021**



Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia.](#)

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

Nota de aceptación:

CHRISTIAN ACOSTA CIPAGAUTA

Jurado 1

LILIANA CHAVES ACERO

Jurado 2

LEONEL JOSÉ PAREDES MADRID

Asesor

Bogotá, junio de 2021

AGRADECIMIENTOS

Siendo uno de los días más importantes de mi existencia, deseo dirigirme a las personas que han sido fundamentales para el alcance de este logro que a partir del momento marca mi vida, convirtiéndome en Ingeniero de Sistemas y Computación, sin dejar a un lado a la Universidad Católica de Colombia.

Así mismo lleno de orgullo y alegría, dedico y comparto mi título a quienes siempre han estado ahí a pesar de los avatares y de los altibajos, a pesar de las vicisitudes que se me han presentado, son los seres por los cuales el día a día se hace más emotivo y esas personas que han guiado e iluminado mi sendero, ellos son; mi señora Madre, mi señor Padre y mis dos hermanos, les manifiesto mis más profundos sentimientos de admiración, lealtad, cariño y mucho más que eso, recordarles que los amo y mis éxitos desde luego dedicados a ellos. Gracias a la Universidad, gracias a mis Maestros y gracias a mi Familia.

David Castaño.

Aprovecho la oportunidad que me brinda esta ocasión tan importante en mi vida para agradecer todo el apoyo y cariño recibido a lo largo de todos estos años vividos. Es en esta situación especial, Cito a todos los profesores que he conocido, quienes, han servido como tutores de este proyecto final de carrera, ya que fueron de gran ayuda por su sabiduría y conocimientos, también he de agradecer a mis amigos y compañeros de clases y laboratorio, que aportaron su grano de arena y amistad para que hoy en día tuviese este gran reconocimiento, también a la Universidad Católica de Colombia que con su gran prestigio nos brindó este espacio para realizar tan bonita labor como la educación. Ahora y más importante aún, quisiera agradecer de todo corazón a mi familia quien siempre estuvieron hay en los momentos más difíciles de mi carrera y con esmero siempre me guiaron por el camino de la responsabilidad y honestidad, agradezco infinitamente a mi madre Isabel sierra, y a mi hermana Daniela Alonso quienes fueron mis pilares de felicidad y apoyo durante largas jornadas de trabajo, donde también y sin lugar a dudas me brindaron amor y comprensión durante toda la vida. Y por último quisiera agradecer a mi padre Humberto Alonso quien, aunque no esté presente con nosotros sé que desde algún lugar estará cuidando de mi familia y de mí, y hacerles saber a los tres que este proyecto y los demás éxitos en mi vida son dedicados directamente a ustedes tres por su gran amor y apoyo.

Juan David Alonso Sierra

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| RESUMEN | 11 |
| PALABRAS CLAVE | 11 |
| ABSTRACT | 12 |
| KEYWORDS | 12 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 13 |
| 2. JUSTIFICACIÓN | 14 |
| 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 17 |
| 3.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN | 18 |
| 4. OBJETIVOS | 19 |
| 4.1 Objetivo general | 19 |
| 4.2 Objetivos específicos | 19 |
| 5. ALCANCES Y LIMITACIONES | 20 |
| 6. MARCO DE REFERENCIA | 21 |
| 6.1 MARCO CONCEPTUAL | 21 |
| 6.1.1. Arte. | 21 |
| 6.1.2. Tipos de arte | 22 |
| 6.1.2.1. La danza. | 22 |
| 6.1.2.2. La música. | 22 |
| 6.1.2.3. La literatura | 22 |
| 6.1.2.4 El dibujo. | 22 |
| 6.1.2.5 La escultura. | 23 |
| 6.1.2.6 La fotografía. | 23 |
| 6.1.2.7. Video arte. | 23 |
| 6.1.2.8. La Pintura. | 23 |
| 6.1.3. Clasificación del arte | 23 |
| 6.1.3.1. Artes literarias | 25 |
| 6.1.3.2. Artes visuales | 25 |
| 6.1.3.3. Artes auditivas (musicales o sonoras) | 25 |
| 6.1.3.4. Artes corporales (escénicas o de performance) | 25 |
| 6.1.3.5. Artes plásticas | 25 |

| | |
|---|----|
| 6.1.4. Estilos Artísticos de la Pintura | 26 |
| 6.1.5. Figurativismo | 27 |
| 6.1.5.1 Características del arte figurativo | 28 |
| 6.1.6. Fernando Botero | 29 |
| 6.1.7. Figurativismo y Botero | 30 |
| 6.1.8 Procesamiento de imágenes | 31 |
| 6.2 MARCO TEÓRICO | 32 |
| 6.2.1 Inteligencia Artificial (IA) | 32 |
| 6.2.2 Visión artificial | 33 |
| 6.2.3 Sistema Experto (SE) | 34 |
| 6.2.4 Modelo De Colores | 35 |
| 6.2.4.1 RGB | 35 |
| 6.2.4.2 CMYK | 37 |
| 6.2.4.3 RGBA | 38 |
| 6.2.5 Formatos Gráficos | 40 |
| 6.2.5.1 JPEG | 41 |
| 6.2.5.2 GIF | 42 |
| 6.2.5.3 BMP | 42 |
| 6.2.5.4 PNG | 43 |
| 6.2.6 Métricas De Medición En Las GANs | 43 |
| 6.2.6.1 Puntaje Inicial (Inception Score) | 43 |
| 6.2.6.2 Distancia de inicio Fréchet (Fréchet Inception Distance, FID) | 45 |
| 6.2.7 Google colab | 47 |
| 7. METODOLOGÍA | 48 |
| 7.1 FASES DEL PROYECTO | 48 |
| 7.1.1 Etapa 1. Construir el estado del arte | 48 |
| 7.1.2 Etapa 2. Implementación del algoritmo | 49 |
| 7.1.3 Etapa 3. Realizar pruebas del algoritmo y su funcionamiento | 51 |
| 8. ESTADO DEL ARTE | 52 |
| 9. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN | 57 |
| 9.1 REQUERIMIENTOS DEL SOFTWARE | 57 |

| | |
|--|----|
| 9.2 ANÁLISIS DEL COMPONENTE FÍSICO | 58 |
| 9.3 TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL UTILIZADAS EN EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES | 59 |
| 9.3.1 Sistemas difusos | 59 |
| 9.3.2 Inteligencia de enjambre | 60 |
| 9.3.3 Sistema inmune artificial (AIS) | 61 |
| 9.3.4 Redes neuronales artificiales | 62 |
| 9.3.4.1 Red neuronal multicapa (MPL): | 63 |
| 9.3.4.2 Red neuronal convolucional (CNN): | 63 |
| 9.3.4.3 Red neuronal profunda (DNN): | 65 |
| 9.4 ANÁLISIS DEL ALGORITMO | 66 |
| 9.4.1 Redes Generativas antagónicas – GANs | 66 |
| 9.5 BASES DE DATOS PARA EL MODELO | 68 |
| 10. IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO | 71 |
| 10.1 COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS RECOPIADAS | 71 |
| 10.2. ELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS Y MANIPULACIÓN DE IMAGEN | 74 |
| 10.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA SELECCIONADA EN EL ALGORITMO | 75 |
| 10.3.1 Configurar el entorno de ejecución | 76 |
| 10.3.2 Importar librerías | 77 |
| 10.3.3 Conectar a Google Drive | 78 |
| 10.3.4 Definir función de visualización | 78 |
| 10.3.5 Declarar variables de entrenamiento | 79 |
| 10.3.6 Transformar conjunto de datos | 80 |
| 10.3.7 Cargar conjunto de datos | 80 |
| 10.3.8 Crear red generativa | 81 |
| 10.3.9 Crear red discriminadora | 81 |
| 10.3.10 Crear la red generativa adversaria (GAN) | 82 |
| 10.3.11 Definir modelo GAN | 82 |
| 10.3.12 Entrenar modelo | 82 |
| 11. REALIZAR PRUEBAS DEL ALGORITMO Y SU FUNCIONAMIENTO | 84 |

| | |
|--|----|
| 11.1. PRUEBAS COMPILACIÓN Y FUNCIONAMIENTO | 84 |
| 11.1.1 Prueba I. | 84 |
| 11.1.2 Prueba II. | 85 |
| 11.1.3 Prueba III. | 86 |
| 11.2 PRUEBAS DE COMPARACIÓN | 91 |
| 12. CONCLUSIONES | 95 |
| 13. TRABAJOS FUTUROS | 96 |
| 14. BIBLIOGRAFÍA | 97 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Revolución industrial a través del tiempo..... | 14 |
| Figura 2. Arte de Inteligencia Artificial..... | 15 |
| Figura 3. Pintura de Botero..... | 16 |
| Figura 4. Clasificación del arte..... | 24 |
| Figura 5. Fernando Botero..... | 29 |
| Figura 6. Autorretrato de Fernando Botero..... | 30 |
| Figura 7. Diagrama de bloques de las etapas del procesamiento de imágenes. | 31 |
| Figura 8. Inspección del nivel de llenado de botellas..... | 33 |
| Figura 9. Estructura de un sistema experto..... | 34 |
| Figura 10. Representación de los colores en el sistema RGB..... | 36 |
| Figura 11. Notación de los colores en el sistema RGB..... | 36 |
| Figura 12. Representación de los colores en el sistema CMYK..... | 38 |
| Figura 13. Nomenclatura en los colores en el sistema CMYK..... | 38 |
| Figura 14. Modelo de los colores en el sistema RGBA..... | 39 |
| Figura 15. Espacio de color RGBA..... | 40 |
| Figura 16. Uso vs Formato..... | 41 |
| Figura 17. Gráficas ideales de $p(y x)$ y $p(y)$ | 45 |
| Figura 18. Puntuación de FID..... | 46 |
| Figura 19. Estructura de la metodología..... | 48 |
| Figura 20. Construir el estado del arte..... | 49 |
| Figura 21. Implementación del algoritmo..... | 50 |
| Figura 22. Realizar pruebas del algoritmo y su funcionamiento..... | 51 |
| Figura 23. Pantalla de inicio del sistema de control..... | 53 |
| Figura 24. Pantalla de inicio del sistema de control..... | 54 |
| Figura 25. Pantalla de inicio del sistema de control..... | 55 |
| Figura 26. Ejemplos de predicciones correctas e incorrectas en conjuntos de datos CelebA y PGGAN..... | 56 |
| Figura 27. (a)Imagen original, segmentación por (b) FABC, (c) PSO, (d) GA, (e) EM..... | 61 |
| Figura 28. Esquema neuronal..... | 62 |
| Figura 29. Esquema de CNN..... | 64 |
| Figura 30. Arquitectura CNN con pooling alternado..... | 64 |
| Figura 31. ANN vs DNN..... | 65 |
| Figura 32. GAN..... | 67 |
| Figura 33. Entrenamiento de una red GAN..... | 68 |
| Figura 34. Comparación del mejoramiento de la clasificación con el conjunto difuso..... | 71 |
| Figura 35. comparación de resultados..... | 72 |
| Figura 36. comparación de resultados..... | 72 |
| Figura 37. comparación de las técnicas de inteligencia artificial..... | 73 |

| | |
|--|----|
| Figura 38. Diagrama de bloques del algoritmo. | 76 |
| Figura 39. Configuración de entorno en Google Colab. | 77 |
| Figura 40. Librerías de Python. | 77 |
| Figura 41. Representación gráfica de tensores. | 79 |
| Figura 42. Reconocimiento de rostros por cuadro de Botero. | 80 |
| Figura 43. Ruido de la red generativa. | 81 |
| Figura 44. Resultados de la red discriminativa. | 82 |
| Figura 45. Resultados de entrenamiento de la GAN. | 83 |
| Figura 46. Resultados prueba I. | 84 |
| Figura 47. Resultados prueba II. | 85 |
| Figura 48. Épocas 2 y 9 del entrenamiento. | 86 |
| Figura 49. Cuatro primeras épocas de entrenamiento del algoritmo. | 87 |
| Figura 50. Bocetos creados por el algoritmo. | 88 |
| Figura 51. Agregando características a los Bocetos. | 89 |
| Figura 52. Mejores características a los rostros creados. | 89 |
| Figura 53. Recuadros mejor formados. | 90 |
| Figura 54. Resultados de la GAN. | 91 |
| Figura 55. Épocas 4 y 5. FID. Izquierda: 480 y FID Derecha: 367. | 92 |
| Figura 56. Épocas 6 y 9. FID. Izquierda: 435 y FID Derecha: 202. | 92 |
| Figura 57. Épocas 11 y 15. FID. Izquierda: 127 y FID Derecha: 81. | 93 |
| Figura 58. Épocas 19 y 20. FID. Izquierda: 27 y FID Derecha: 21. | 93 |

RESUMEN

La inspiración que transmite el pintor en sus obras de arte es algo que a la comunidad artística ha deseado deslumbrar en el transcurso del tiempo, sin embargo, puede que la pintura que tanto lo hizo famoso perdure en la historia, pero su creador no; y esto causa gran frustración al público, debido a que al pasar el tiempo el estilo artístico propio del pintor muera junto a su autor. En la actualidad hay procesos que realizan la reproducción de las obras de arte de estos pintores las cuales se hacen por medios manuales o digitales, pero aún no existe una herramienta capaz de reproducir el estilo artístico propio de un pintor.

El objetivo de este proyecto fue crear una herramienta a través de inteligencia artificial el cual es capaz de recrear el estilo artístico propio del pintor Colombiano Fernando Botero con el fin de que su estilo perdure por generaciones haciendo que sus obras de arte sirvan de inspiraciones a las nuevas generaciones de pintores.

PALABRAS CLAVE

Inteligencia artificial, visión artificial, pintura, Boterismo, manipulación de imagen.

ABSTRACT

The inspiration that the painter transmits in his works of art is something that the artistic community has wanted to dazzle in the course of time, however, the painting that made him so famous may last in history, but its creator does not; and this causes great frustration to the public, due to the fact that as time passes, the painter's own artistic style dies with its author. Currently there are processes that reproduce the works of art of these painters which are done by manual or digital means, but there is still no tool capable of reproducing the artistic style of a painter.

The objective of this project is to create a tool through artificial intelligence which is capable of recreating the artistic style of the Colombian painter Fernando Botero in order that his style last for generations, making his works of art serve as inspirations to the new generations of painters.

KEYWORDS

Artificial intelligence, artificial vision, painting, Boterismo, image manipulation.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen diversas tecnologías que ayudan a las personas a mejorar tanto calidad de vida, como tiempos y/o recursos en ciertas tareas específicas, estas tecnologías se encuentran en entornos industriales e investigativos, pero muy poco se ve este desarrollo tecnológico en las bellas artes y específicamente en la pintura, puesto que es un ámbito muy artesanal donde el pintor se ve envuelto en sentimientos e ideas que lo llevan a plasmar todo esto en lienzos, para que la humanidad vea un poco más de cerca ya sea un contexto social, político o cultural; Es por esta razón que la pintura trasciende de generación en generación llevando el mensaje que alguna vez su autor quiso plasmar, sin embargo, esto suele verse ofuscado debido a que estos autores ya sea por su mayoría de edad o condiciones de salud no puedan seguir ilustrando sus obras de arte al mundo, dejando un vacío e inconformes a los amantes del arte creando una amplia necesidad de recrear más del estilo artístico de un autor en específico.

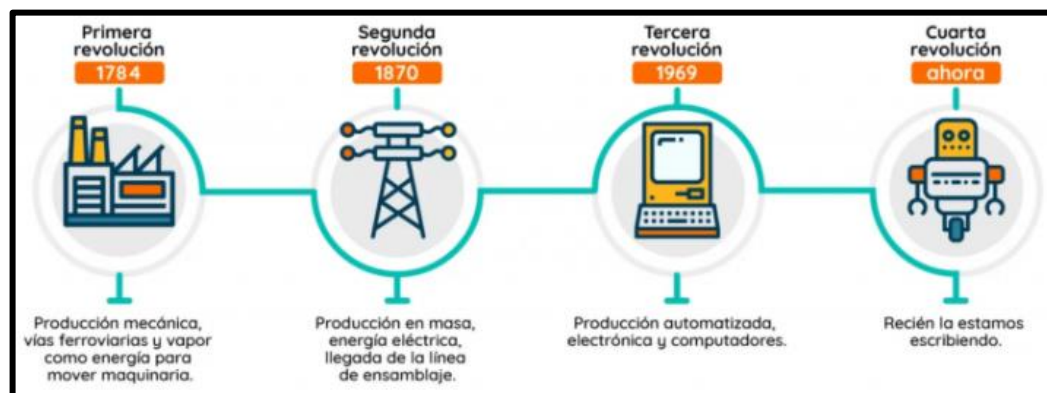
Existen formas de recrear estas obras de arte para que los espectadores consuman un poco de este, una de ellas es de forma manual, donde un pintor intenta recrear a mano alzada la obra de otro autor, pero este proceso puede llevar meses o años y dependen de un sin número de variables, donde el resultado no es idéntico al original, en la actualidad también se utiliza el método de digitalización, en el cual las obras de arte son representadas en forma digital e inmediatamente impresas, para la reproducción en masa. Sin embargo, se suele tener el mismo inconveniente ya que una cosa es recrear una obra de arte y otra muy diferente es recrear el estilo artístico del pintor, donde este además de seguir un movimiento específico agrega un toque personal que lo diferencia de los demás pintores. Esta necesidad se está presentando en la actualidad en la cultura colombiana donde el pintor colombiano Fernando Botero artista mundialmente reconocido por sus pinturas y esculturas que simulan formas corpulentas y gruesas, han causado furor en toda la comunidad artística; Sin embargo este gran pintor está llegando a su vejez y dentro de muy pocos años dejara de pintar sus obras de arte, a causa de esto la comunidad amante de su estilo artístico “El Boterismo” se encuentra alarmada debido a que este movimiento artístico caería junto a su creador.

El presente proyecto tiene como objetivo principal realizar un algoritmo que genere a partir de imágenes de objetos o seres vivos, la ilustración de cuadros que representen las mismas imágenes pero aplicando el movimiento artístico de Fernando Botero, a través de la manipulación de imagen otorgada por la inteligencia artificial, para así lograr satisfacer la necesidad de inspiración a la comunidad artística, que aclama a este famoso pintor, logrando que su arte y su movimiento artístico no muera junto con él, y a su vez aportar a la economía colombiana generando gran interés por este tipo de arte y consolidar a Colombia como un centro artístico mundial.

2. JUSTIFICACIÓN

La primera revolución industrial alrededor de 1784, desarrolló la producción mecánica, vías ferroviarias y vapor como energía para mover distintas maquinarias. La segunda revolución industrial aconteció en 1870, donde se caracterizó por la producción en masa, la energía eléctrica y la llegada de la línea de ensamblaje. En 1969 se desarrolló la tercera revolución industrial, se generó la producción automatizada, la electrónica y los computadores. Estas evoluciones se evidencian en la figura 1. La cuarta revolución industrial, está marcada por la convergencia de tecnologías digitales, físicas y biológicas, de esta forma cada vez más se exigen mejores competencias en el desarrollo de sistemas inteligentes y automáticos tanto en la vida real como en la virtualidad, sobre todo con la aparición de nuevas tecnologías como los sistemas inteligentes o la inteligencia artificial, capaces de simular al ser humano. Por lo anterior se debe hablar que estos sistemas inteligentes facilitan los hábitos del ser humano que a diario vive, obedeciendo órdenes y tareas que la persona le asigne. También es capaz de razonar con su creador o dueño para mejorar la comunicación y optimizar tareas que pueden tardar cierto tiempo dependiendo de su complejidad.¹

Figura 1. Revolución industrial a través del tiempo.



Fuente: La cuarta revolución industrial.

Esta tecnología se ha utilizado para mejorar sistemas artificiales e inteligentes como se evidencia en la figura 2, que ayudan a transformar el pensamiento de las personas, dándole una mayor importancia y un mejor punto de vista con respecto al arte, como; la escultura y la pintura. Por esto es que se tienen aplicaciones donde se ve la manipulación de la imagen en una foto con distintos fondos, personas, caras, paisajes y demás gráficos que puedan existir, dándole un contraste, un matiz

¹ Pena-Cabrera, Mario, Victor Lomas, and Gaston Lefranc. 2019. "Fourth Industrial Revolution and Its Impact on Society." IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies, CHILECON 2019 04500: 1–6. <https://doi.org/10.1109/CHILECON47746.2019.8988083>.

y una transformación a las imágenes para hacerles parecer que están en algún lugar del mundo o que aparenten tener características faciales o físicas que no tienen, o simplemente para lucir mejor, a esto se le conoce popularmente como filtros de imágenes y fotografías.

Figura 2. Arte de Inteligencia Artificial.



Fuente: Subastan obra de arte creada con IA.

El Boterismo es un movimiento artístico, donde hace referencia al pintor Fernando Botero. Se basa en exagerar el tamaño y la forma de los objetos, personas, figuras, entre otras, más de lo habitual formando pinturas y esculturas robustas y gruesas como se observa en la figura 3. Las pinturas que realiza este personaje artístico, donde en una entrevista con la revista Semana, menciona que tarda 8 horas diarias como mínimo para hacer una obra de arte durante meses, pero también aclara que en algunas obras de arte ha tardado años para realizarlas², mientras que la inteligencia artificial no tardará más de dos horas en realizar una obra de arte de este tipo.

² Alberto Morales, 2020. "Así se hace una obra de arte." SOHO, Publicaciones Revista Seamana, entrevista. Disponible en: <https://www.soho.co/historias/articulo/fernando-botero-muestra-como-hacer-una-obra-de-arte/41546>

Figura 3. Pintura de Botero.



Fuente: Artículo notiamérica: El pintor colombiano Fernando Botero cumple 85 años.

La elaboración de este proyecto beneficiará el Boterismo en los sistemas de inteligencia y visión artificial, creando imágenes robustas y gruesas sin necesidad de que las dibuje el pintor Fernando Botero, también favorecerá a los amantes de este movimiento artístico permitiéndoles obtener obras de arte para su colección o su apreciación. De esta forma facilita que las personas u objetos luzcan gruesas para que se vean y hagan parte de este tipo de arte y así poder enmarcar esta imagen en una pared, pasillo, museo o donde se quiera poner esta pintura.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El arte en la humanidad ha sido una herramienta fundamental en la cual se puede expresar ideas, pensamientos, sentimientos, emociones he incluso visualizar la realidad de un momento; el arte componente indispensable en la cultura y del reflejo de la sociedad donde se unen entidades como el tiempo y el espacio los cuales relatan realidades de la economía y del ámbito social del ser humano.

Lo anterior no es ajeno a ninguna sociedad ni a un país, ya que esta actividad es referenciada durante toda la historia humana describiendo acontecimientos y narrando historias de antecesores. Ante esto, el arte desarrollado en Colombia tampoco se queda atrás, teniendo en cuenta que este arte colombiano tiene alrededor de 3500 años de historia, y que contempla una gran gama de medios y estilos, desde la pintura devocional barroca española, las artesanías en oro Quimbaya hasta el americanismo lírico, y a pesar del tiempo, se sigue registrando obras artísticas en la actualidad.

Una de las artes más antiguas de la historia se conoce como la pintura, la cual es una representación gráfica de un acontecimiento utilizando pigmentos (sustancias orgánicas o sintéticas). Este tipo de arte ha tenido a lo largo de la historia grandes representantes los cuales a través de sus obras transmiten la inspiración que aun en la actualidad sigue cautivando la gente.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, este tipo de arte no debe ser menospreciado, ya que además de ser una actividad muy inspiradora que enriquece el alma también es un mercado con bastante flujo de dinero, según la revista DINERO el arte se está volviendo un gran negocio en Colombia “El dinero de poderosos inversionistas está pasando de los bolsillos y cuentas bancarias a las paredes de residencias, casas de subasta, bancos y hasta a la calle” y este crecimiento del mercado local va de la mano con el volumen de transacciones en el resto del mundo.³ En Colombia esta modalidad representa el 46.8% generador de recursos en la emergente economía naranja del país;⁴ Ahora la economía naranja representa el 3.5% del PIB en Colombia lo cual lo hace una economía aun en crecimiento.⁵

La tecnología ante este ámbito no se queda atrás ya que en el arte de la pintura hay gran cabida, y es muy evidente cuando algunos artistas de la actualidad utilizan herramientas tecnológicas para mejorar técnicas de color y superficie. Es por esta

³ Revista DINERO, Así es como el arte se está volviendo un gran negocio en Colombia, Sección Arte, Disponible en: <https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/asi-fue-que-el-arte-se-volvio-un-buen-negocio-en-colombia/269804>

⁴ DANE. 20 de Julio de 2020. DANE información para todos, Disponible en: <https://n9.cl/25dr>

⁵ Jhon Caicedo, ¿Qué es la “Economía Naranja”, Disponible en: <https://www.johncaicedo.com.co/2018/08/13/que-es-la-economia-naranja/>

situación y del progreso tecnológico que la pintura y la tecnología convergen en un solo punto para satisfacer a las masas sirviendo como inspiración.

Sin embargo, hoy en día es bastante complejo poder seguir admirando un estilo artístico, debido, a que este movimiento puede que haya pasado su etapa de florecimiento o sus representantes más famosos ya dejaron de pintar ya sea porque estos fallecieron o llegaron a una edad donde ya no lo pueden hacer, esto es un gran problema ya que las personas fascinadas por un estilo de arte no pueden seguir apreciando nuevo contenido de este estilo de obras viendo su necesidad opacada.

Un ejemplo de lo anterior, es el gran artista Colombiano Fernando Botero, el cual es uno de los pintores más famosos de Colombia y también es muy aclamado a nivel internacional debido a un estilo figurativo o movimiento artístico propio, llamado “El Boterismo”, es una fusión entre el arte figurativo tradicional y un estilo propio donde sus obras representan cuerpos robustos y gruesos en toda la expresión de la palabra. Por su avanzada edad, Botero ha dejado poco a poco de hacer obras de arte dedicando solo pocas horas del día para esto, por esta razón se deduce que en unos años no se va a presenciar contenido nuevo de su arte.

Esto implica que se realice una reproducción de sus obras de arte, es decir, de obras originales realizadas en cualquier técnica artística, óleo, acrílico, grafito, acuarela, etc.; replicarlas de la manera más fiel posible en un soporte similar o no al original. Además, este proceso de ser manual conlleva un sinnúmero de preparaciones lo cual genera costos y tiempo para que esta replica sea similar a la original; Esta reproducción también se puede hacer de manera digital por medio de computadoras donde digitalizan las pinturas y las imprimen en cuadros muy similares a la original. Sin embargo, esto implica replicar sus obras de arte mas no su estilo artístico, a lo que lleva al fin del estilo artístico característico de Fernando Botero “Boterismo”.

3.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

A raíz de todo lo anterior se genera la siguiente pregunta de investigación. ¿Cómo automatizar digitalmente el proceso de replicación del movimiento artístico de Fernando Botero utilizando inteligencia artificial?

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Desarrollar un algoritmo de visión artificial para generar imágenes de objetos o seres vivos por medio del movimiento artístico de Fernando Botero usando inteligencia artificial.

4.2 Objetivos específicos

- Construir el estado del arte considerando técnicas de inteligencia artificial para el movimiento artístico de Fernando Botero.
- Implementar los algoritmos basados en inteligencia artificial para generar obras de arte del movimiento artístico de Fernando Botero.
- Probar la eficiencia del algoritmo de visión artificial para la generación de imágenes del movimiento artístico de Fernando Botero.

5. ALCANCES Y LIMITACIONES

El desarrollo de este proyecto se basa en un algoritmo el cual realiza la captura de imágenes o fotos, donde estas pueden contener objetos, personas o seres vivos, esto con el fin de que las imágenes al ser analizadas por el algoritmo, estas las convierte en arte al estilo del movimiento artístico de Fernando Botero (El Boterismo).

El algoritmo que se desarrollará, estará formado o constituido por Python, donde abarca la biblioteca llamada pytorch. Este algoritmo estará basado en el aprendizaje de máquina, permitiendo el reconocimiento de obras de arte de Fernando Botero y posteriormente convertir la imagen capturada a este movimiento artístico.

Cabe aclarar que la eficiencia del algoritmo, la velocidad del proceso, el análisis y la extracción de las características de la foto o de la imagen, dependerá de los recursos del equipo de cómputo como; la memoria RAM, tarjeta gráfica y la velocidad del procesador.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1 MARCO CONCEPTUAL

Dado que el proyecto de grado se centra en la implementación de un modelo computacional basado en inteligencia artificial, resulta fundamental dar definición a algunos conceptos básicos aplicables que están dirigidos hacia la investigación de los autores.

En primera instancia se definen algunos conceptos básicos acerca del arte y de técnicas más representativas, donde se podría aplicar este proyecto, además de exponer algunos conceptos que componen el ámbito de inteligencia y visión artificial en movimientos artísticos.

6.1.1. Arte.

El arte en la humanidad ha sido una herramienta fundamental, en la cual se puede expresar ideas, pensamientos, sentimientos, emociones e incluso visualizar la realidad de un momento; El arte es indispensable en la cultura y hace un reflejo de la sociedad donde se unen entidades como el tiempo el espacio los cuales relatan realidades de la economía y del ámbito social de ser humano.

Por esta razón desde sus comienzos en la prehistoria el hombre ha intentado plasmar sus ideas de distintas formas para así hacerse reconocer ante los demás.

El arte a través del tiempo ha tenido un significado tan inmenso para relatar momentos históricos que el mundo ha presenciado, ya que el arte cumplió la función ritual y mágico-religiosa que cambió la manera de pensar de millones de personas. Sin embargo, en un concepto de arte y su uso ha cambiado de acuerdo a la época y cultura; una de las épocas más emblemáticas y que más sobresalto el poder del arte fue El renacimiento Italiano a finales del siglo XV, se comienza a distinguir entre la artesanía y las bellas artes, dando así la separación del artesano que se dedica a producir obras múltiples, y un artista quien es el que crea obras de arte únicas que logran trascender, además esta época también es icónica por el número de obras y artistas que hoy en día aún son los más alabados por todo el mundo⁶. Un ejemplo de lo anterior son los artistas como Leonardo da Vinci, Miguel Ángel, Donatello, Rafael. Y en cuanto a obras de arte se destacaron, por ejemplo, “La Gioconda”, “La Capilla Sixtina”, “Gattamelata”, “Venus de Urbino” y “Los desposorios de la Virgen” respectivamente.

El arte ha sido clasificado desde la antigua Grecia con varias disciplinas muy bien definidas, como lo son la arquitectura, la escultura, la música, la pintura, la danza y

⁶ Tellus, Nova, and Distrito Federal. 2012. “El Concepto de Belleza En El Mundo Antiguo y Su Recepción En Occidente The Concept of Beauty in the Ancient World and Its Reception in the West” 30: 133–48.

literatura. Sin embargo, más adelante otras culturas agregaron al cine como el séptimo arte.⁷

6.1.2. Tipos de arte

A continuación, se mencionaron algunos tipos de arte.

6.1.2.1. La danza.

Es un tipo de arte que se basa en el movimiento armónico del cuerpo, cuando se dice armónico porque este movimiento va acompañado generalmente de música y se ha usado desde el comienzo de la humanidad para expresar emociones y tiene fines artísticos de entretenimiento o religiosos

6.1.2.2. La música.

Es el arte que combina el ritmo, melodía y armonía que suelen agradar al oído humano, este arte se basa en la coordinación y transmisión de efectos sonoros, armoniosos los cuales son generados a través de la voz o instrumentos musicales. La música es una manifestación artística y cultural de tribus o pueblos que de diversas formas o tonos musicales generan un contexto en la cual un individuo puede expresar sentimientos.

6.1.2.3. La literatura

Es un arte que usa las palabras para expresar los sentimientos de forma hermosa usando la escritura en todo tipo de forma, anteriormente se conocía como poesía o elocuencia a toda forma escrita que generaba un pensamiento o idea y a lo largo del tiempo se fue cambiando el concepto ya que en el siglo de oro español la literatura se denominaba en textos escritos en forma de verso o prosa. Después del siglo XX se hizo un cambio y una diferencia gradual a la palabra literatura ya que esta no representaba a todas las formas de escritura, debido a que el periodismo y las investigaciones científicas que comparten la misma esencia de transmitir un mensaje carecían de la función poética y la estética del lenguaje.

6.1.2.4 El dibujo.

Es un arte que se puede ver como un procedimiento que es utilizado como base para generar otras técnicas artísticas. Busca plasmar influencias artísticas, imaginaciones, sensaciones personales y sociales, experiencias o vivencias de cada persona, basándose en la realidad y utilizando las técnicas como los lápices, carboncillo o tinta, lápices de cera, entre otros.

⁷ Bellas artes". En: Significados.com. Disponible en: <https://www.significados.com/bellas-artes/>

6.1.2.5 La escultura.

Se considera el arte de modelar el barro, tallar en piedra, madera u otros materiales este tipo de arte tiene como objetivo crear una figura u obra tridimensional a partir de distintos materiales, como lo es la piedra, el barro, hierro, madera, entre otros. Existen dos tipos de esculturas, las exentas que son las que representan un volumen completo, de esta forma se puede observar desde cualquier ángulo. Y están las esculturas en relieve, son las que se adhieren a una superficie que sirve como fondo, estas tienen 3 categorías; el alto relieve, medio relieve y bajo relieve.

6.1.2.6 La fotografía.

También existe la fotografía que es una técnica de arte contemporáneo, que al igual que las anteriores, también representa y expresa emociones, pensamientos y sentimientos. Se basa en capturar un momento o instante único en el tiempo.

6.1.2.7. Video arte.

Esta técnica artística consiste en capturar ciertas imágenes continuas, esto genera un efecto visual que es el movimiento de las mismas o simplemente un video, este tipo de arte está diseñada para transmitir emociones al espectador. Se dividen en dos metodologías, el canal individual y las técnicas de instalación.

6.1.2.8. La Pintura.

Es el estilo de arte que utiliza la representación gráfica de un acontecimiento para narrar un acontecimiento y trata de plasmar y representar motivos figurativos o abstractos mediante materiales compuestos por un pigmento mezclado con aglutinante. Esta técnica también se divide en técnicas secas, donde la pintura es sólida y no hay necesidad de que se disuelva, estas son: el lápiz grafito, lápices de colores, rotuladores, carboncillo, ceras y el collage. La otra técnica es; las técnicas húmedas, consiste en diluir los pigmentos en unas sustancias acuosas o aceitosas, y estas se aplican con ayuda de pinceles u otros elementos para la implementación de esta. De la misma forma que la técnica anterior se categoriza, esta también se divide en: la tempera, acuarela y el óleo.

Este tipo de arte ha tenido a lo largo de la historia grandes representantes los cuales a través de sus obras transmiten la inspiración que aun en la actualidad sigue cautivando la gente.

6.1.3. Clasificación del arte

El arte se clasifica según los elementos estructurales básicos del tipo de arte en cuestión. Para ello se considera en su verdadera esencia lo más importante para el consumo del producto artístico, El tiempo, el espacio y la unión de ambas una esencia espacio temporal. En la Imagen 4 se explica la clasificación del arte y qué tipo de arte pertenece a esa clasificación.

Figura 4. Clasificación del arte.



Fuente: Autores

Sin embargo, la clasificación de las artes depende mucho del concepto del arte existente y como se desarrolla este en una cultura en específico, por tal razón es imposible generalizar y esquematizar algo tan complejo como el arte y que se considera o no arte para cada cultura, ya que cada uno tiene una escala diferente de valores para validar esto. A esto se agrega que debido a la complejidad y al surgimiento de nuevas artes que además se mezclaron y combinaron con las ya existentes, fue necesario una reorganización para la clasificación del arte, de esta nueva organización nacieron los subgrupos.⁸

Las categorías expuestas a continuación no tienen límites estrictos, ni tampoco son excluyentes las unas de las otras por tal razón una actividad artística puede pertenecer a varias categorías a la vez. Esto también significa que el arte mismo

⁸ GENERALIDADES DEL ARTE: Clasificación de las Artes [en línea]. Flickr. [Consultado: 7 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/apreciacionexpressarte/home/primeras-manifestaciones-artisticas/las-funciones-del-arte/clasificacion-de-las-artes>

puede transformarse con el tiempo ya que en su esencia no es estático. Teniendo claro esto se puede decir que él se clasifica en los siguientes grupos.⁹

6.1.3.1. Artes literarias

En las artes literarias hacen parte la palabra escrita leída y escuchada, en ella se encuentran la novela, la poesía, el ensayo o el guion de teatro entre otros. Algo especial de esta clasificación es que dentro de las artes literarias entran todas las tradiciones orales de cada cultura alrededor del tiempo, en conclusión, las artes literarias contemplan todas las creaciones mérito escritas mas no la palabra escrita ordinaria o en su defecto cualquier tipo de escrito que carece de propósito.

6.1.3.2. Artes visuales

Las artes visuales son aquellas disciplinas artísticas en las son prioridad el contenido visual como la fotografía, pintura, dibujo, el vídeo, y el grabado.

6.1.3.3. Artes auditivas (musicales o sonoras)

Las artes auditivas son las que se relacionan con las profesiones musicales o sonoras y son una forma de arte que manifiesta una cultura en específico y manipulan los sonidos y los silencios de una forma coherente, creando así melodías, armonías y un tipo de ritmo específico para componer una pieza musical; con el fin de generar sensaciones o diferentes emociones a través del escucha. En este arte se compone de Música étnica, Música populares y tradicionales, música clásica y música de consumo. También este arte comprende a todo tipo de cantautor o músico.

6.1.3.4. Artes corporales (escénicas o de performance)

Son aquellas actividades artísticas que se practican en un espacio escénico, como el teatro, la danza y el performance. En estas, el artista utiliza su cuerpo, su voz u objetos inanimados como forma de expresión artística, y suceden usualmente frente a una audiencia en vivo. Con la llegada de la grabación de audio y video estas artes también pueden ser disfrutadas de manera privada y posterior al momento en el que se realizó la presentación o performance.

6.1.3.5. Artes plásticas

Las artes plásticas son aquellas disciplinas en las que el artista crea la obra usando activamente la materia, como la escultura, la arquitectura, y al igual que las artes visuales, la pintura, el grabado y el dibujo.

⁹ ESPAÑOL: Clasificación de las artes [en línea]. Flickr. [Consultado: 15 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.aboutespanol.com/tipos-de-arte-clasificacion-de-las-artes-180288>

En este proyecto utilizaremos se basó en el uso de artes plásticas ya que son donde el artista pintor colombiano Fernando Botero fue donde se destacó usando la pintura y la escultura como representación de su arte que lo volvió mundialmente famoso.

6.1.4. Estilos Artísticos de la Pintura

Debido a que este proyecto se basa en las pinturas del artista Fernando Botero se dio cierta importancia colocar un contexto bastante claro acerca de los estilos artísticos de la pintura y en especial el estilo figurativo donde Botero se destacó por promover un estilo único y exuberante que impresionó al mundo.

El estilo artístico de una obra de arte trata sobre la filosofía y un estilo en común que comparten varios artistas durante un periodo de tiempo. Este estilo también alude a que un gran número de pinturas conservan características únicas que definen el estilo.

Dentro de los estilos artísticos de la pintura cabe resaltar que existen géneros pictóricos sobre los cuales los artistas pintan dentro de estos están:

- Paisaje: Pinturas que su fin es mostrar algo específico en la naturaleza.
- Pintura abstracta: son pinturas que son lo opuesto a la pintura figurativa que define a la representación de figuras bien conformadas
- Pintura histórica: Es un tipo de pintura que está inspirada en un hecho histórico o de cierta época como la historia griega y romana, egipcia, mesopotámica, nórdica, etc.
- Pintura mitológica: Son pinturas cuyo tema artístico son las representaciones de la mitología esto quiere ser de personajes mitológicos, que no tienen fines religiosos si no que eran bastante famosas por hacer gran interpretación del cuerpo humano. Este arte se basó bastante en la mitología greco-romana.
- Pintura religiosa: es aquella que tiene como tema las representaciones de los textos sagrados, esto quiere decir que alude a hechos escritos en la biblia como la crucifixión de Cristo y pinturas de la virgen maría
- Bodegones: es el arte que representa la naturaleza muerta, es un género pictórico caracterizado por mostrar objetos inanimados en entornos caseros, normalmente:
 - vegetales de la cocina
 - animales recién cazados
 - vajilla y flores.
- Costumbrismo: es el arte recoge el comportamiento social y/o estético, que caracteriza a un grupo humano perteneciente a una época, lugar y cultura determinada.
- Pintura ecuestre: es el género de arte que resalta la animalística y está más enfocado a los caballos.

- Retrato: Es el género de arte que se enfoca principalmente en una persona, sus gestos sus cualidades físicas y morales.¹⁰

Ahora, a través del tiempo y de la historia han existido un sin número de estilos artísticos de la pintura, sin embargo, hay pocos que han sobresalido y perdurado, rompiendo el estrecho margen del tiempo haciendo que los artistas de la actualidad sigan las marcas únicas de cada estilo artístico. Dentro de los estilos artísticos más reconocidos son:

- | | | |
|-----------------|-----------------|----------------|
| ● Moderno | ● Fauvismo | ● Victoriano |
| ● Ilustración | ● Barroco | ● Renacimiento |
| ● Clasicismo | ● Puntillismo | ● Naif |
| ● Cubismo | ● Impresionismo | ● Surrealismo |
| ● Futurismo | ● Realismo | ● Gótico |
| ● Expresionismo | ● Romanticismo | ● Figurativo |

Dentro de estos estilos artísticos estuvieron los exponentes artísticos más importante de la historia estos personajes trascienden en la historia debido a que sus obras de arte hoy en día causan aún admiración por el público; algunos de estos artistas representativos son:

- | | | |
|--------------------|---------------------|------------------------------|
| ● Vincent van Gogh | ● Édouard Manet | ● Rembrandt |
| ● Diego Velázquez | ● Paul Cézanne | ● Sandro Botticelli |
| ● Pablo Picasso | ● Auguste Renoir | ● Miguel Ángel |
| ● Claude Monet | ● Edgar Degas | ● Salvador Dalí |
| | ● Leonardo da Vinci | ● Caravaggio |
| | | ● Edvard Munch ¹¹ |

6.1.5. Figurativismo

El figurativismo o arte de la representación, tiene dos grandes vertientes la escultura y las pinturas por esto esta se encuentra dentro de las artes plásticas o visuales; el figurativismo está directamente relacionado con fuentes naturales y el pensamiento humano, esto quiere decir, que imita la naturaleza, copiándola, lo que lo griegos denominaban “mímesis”, como este arte proviene de la figura que equivale a la representación de formas o figuras, no se debe confundir ni limitar este término debido a que muchos más estilos artísticos también se basan tanto figuras humanas, animales, objetos, retratos y naturalezas muertas, pero también paisajes y escenas. Para diferenciarlo de los demás se debe evidenciar el nivel de imitación a la que está expuesta la obra puesto que el figurativismo es un concepto opuesto

¹⁰ TODO A CUADROS: Generos pictóricos y temas [en línea]. Flickr. [Consultado: 26 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.todocuadros.com.co/generos-temas/>

¹¹ REPRODART: Estilos artísticos y epocas [en línea]. Flickr. [Consultado: 29 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.reprodart.com/a/estilos-artisticos/>

al de arte abstracto. Este estilo de arte no exige en el observador ningún esfuerzo mental para comprenderlo, pues todo está expuesto ante los ojos de quien lo contempla. Así cuando vemos un paisaje, un retrato, una naturaleza muerta, etcétera, comprendemos inmediatamente el mensaje que el artista nos quiere transmitir al público. Dentro de este estilo artístico se puede incluir aquellas obras de arte que deforman lo real a través de caricaturas; o el expresionismo, que muestra lo real, exagerando, tergiversando la realidad y haciéndola subjetiva.¹²

Debido a que el arte figurativo en esencia imita la realidad, un ejemplo claro de esto sería la fotografía, y en efecto se puede decir que esta es la culminación del figurativismo, dado por la exactitud de la tecnología.

6.1.5.1 Características del arte figurativo

El arte figurativo es representativo de la apariencia de cosas reales.¹³

Lo que quiera expresar será reconocible por su aspecto, pudiéndose aproximar a su representación con distintos énfasis:

Veracidad: Los elementos condicionados a imitar apariencias y a crear la ilusión de realidad

Mímesis: imitación de la naturaleza como fin esencial

Realismo: representación con objetividad

Distorsión: representación de características generales, sintetizando elementos visuales, deformando o estilizando acorde con la interpretación de la realidad del artista

Idealización: uso de formas geométricas y sintetizadas

Expresionismo: exageración y deformación resaltando los rasgos más característicos comunicando una interpretación más introspectiva.

Simbolismo: interpretación de las figuras por su significado en un contexto cultural.¹⁴

¹² TIPOS DE ARTE: Arte figurativo ¿Qué es? [en línea]. Flickr. [Consultado: 07 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://tiposdearte.com/arte-figurativo-que-es/>

¹³ ¿Qué es arte?: Arte figurativo, figurativismo o arte representacional [en línea]. Flickr. [Consultado: 10 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://queesarte.com/arte-figurativo-figurativismo-o-arte-representacional/>

¹⁴ ¿Qué es arte?: Arte figurativo, figurativismo o arte representacional [en línea]. Flickr. [Consultado: 10 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://queesarte.com/arte-figurativo-figurativismo-o-arte-representacional/>

6.1.6. Fernando Botero

Fernando Botero Angulo es un pintor, dibujante y escultor colombiano, nacido en Medellín el 19 de abril de 1932. Con 89 años de edad es uno de los grandes representantes de las artes plásticas, además es uno de los artistas más reconocido en Colombia y tiene una gran fama mundial por su estilo y su gran repertorio de obras de arte, que junto a su amplio conocimiento de la historia de la pintura clásica hacen de Botero un artista excepcional en el país y el resto de América Latina. Sus pinturas y dibujos son trabajos personalísimos que de ninguna manera se pueden confundir con las diversas posturas figurativas internacionales de los últimos años.

Figura 5. Fernando Botero.



Fuente: Fernando Botero- Wikipedia, la enciclopedia libre.

A su temprana edad entró al mundo del arte plástico debido a que a sus 19 años hizo su primera exposición individual de acuarelas, gouaches, tintas y óleos en la Galería Leo Matiz en la ciudad de Bogotá, y desde allí empezó su carrera y su largo camino lleno de premios y aclamaciones por parte de la crítica, tiempo después estuvo en Europa donde se instruyó en varias academias, siendo autodidactas siguió formándose a base de leer, visitar museos y, sobre todo, pintar. Se radicó en Nueva York y luego en París, en 1964 empezó su etapa de escultor lo cual lo hizo más famoso donando sus grandes esculturas en plazas del todo el mundo.

Convertido ya en uno de los artistas vivos más cotizados del mundo, Botero no ha dejado nunca pintar, de alzar la voz contra la injusticia y de mantener su arte en

línea con la realidad histórica y social. Además, que el pulso y la creatividad del artista no ha menguado en absoluto con los años.¹⁵

6.1.7. Figurativismo y Botero

Botero es hoy uno de los artistas más cotizados de la actualidad y sin duda el pintor colombiano de mayor resonancia internacional. Debido a su estilo único e imposible de no reconocer.¹⁶

Su estilo figurativo en los dibujos, pinturas y esculturas tiene un nombre oficial por su toque único llamado “Boterismo”, debido a que en sus obras de artes realiza figuras más robustas y gruesas de lo habitual, esto quiere decir que hace representación de gordos. Temáticamente, al colombiano parece gustarle lo grotesco, por sus recurrentes imágenes deformadas, pero su obra supura de un humor que se puede interpretar como una crítica sarcástica a la sociedad actual, llena de monstruos sobrealimentados realizando todo tipo de acciones ridículas. Sus desmesurados personajes ocupan todo el lienzo en ocasiones, no dejando espacio para nadie más. Son caricaturas, retratos de la fealdad, pero no es una fealdad moral, sino exterior y estética.

Figura 6. Autorretrato de Fernando Botero.



Fuente: Banco de la República.

¹⁵ Ruiza, M., Fernández, T. y Tamaro, E. (2004). Fernando Botero. Biografía. En Biografías y Vidas. La enciclopedia biográfica en línea. Barcelona (España). Disponible en: https://www.biografiasyvidas.com/reportaje/fernando_botero/

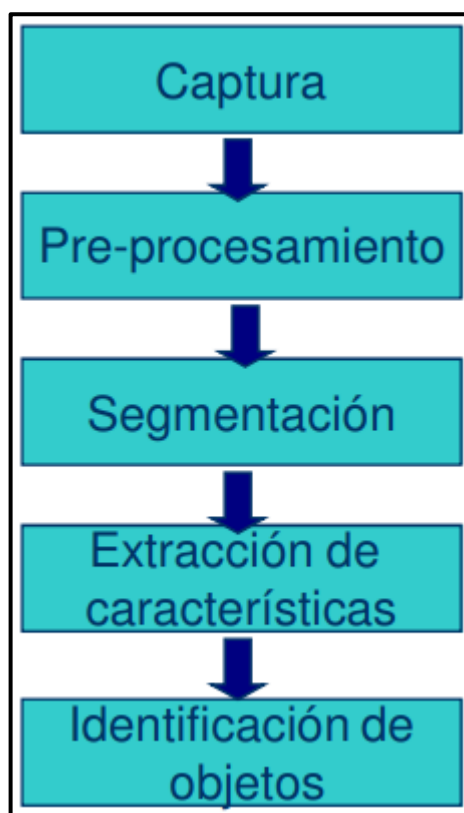
¹⁶ BANCO DE LA REPÚBLICA [sitio web]. Bogotá. Banrepcultura. Colección de Arte del Banco de la República. [Consultado: 02 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.banrepcultural.org/coleccion-de-arte/artista/fernando-botero>

Tampoco está ausente la crítica política en su obra, no sólo colombiana sino también internacional. Son habituales escenas de terrible actualidad como torturas, masacres, guerras, pero siempre vistas a través del filtro del Boterismo. Ya sea Jesucristo, un dictador un obispo o el propio pintor, sus retratos siempre tienen un tratamiento exagerado en sus proporciones.¹⁷

6.1.8 Procesamiento de imágenes

Las imágenes tienen etapas de procesamiento las cuales se clasifican como se muestra en la figura 7, donde en primera instancia se hace la captura después pasa por un procesamiento para luego identificar los objetos capturados.¹⁸

Figura 7. Diagrama de bloques de las etapas del procesamiento de imágenes.



Fuente: Procesamiento digital de imágenes Pág. 4.

La primera etapa se llama captura, al momento que cámara capta el objeto, esta captación depende de variables como; la distancia entre la cámara y el objeto o

¹⁷ WIKIPEDIA: Fernando Botero [en línea]. Flickr. [Consultado: 02 de marzo de 2021]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Fernando_Botero

¹⁸ Wainschenker, Rubén. 2011. "Procesamiento Digital de Imágenes Objetivos de La Materia." Pag 4-7. Disponible en: <http://www.exa.unicen.edu.ar/catedras/pdi/FILES/TE/CP1.pdf>

persona, la resolución de la cámara y las propiedades que se le aplican a la cámara para la toma de la imagen.

El preprocesamiento, visualiza y procesa todo el entorno de la imagen que no es de interés como lo son las interferencias de otras personas, objetos, entre otros que no son de interés para el procesamiento de la imagen.

La segmentación, se encarga de fraccionar, reconocer y extraer las características de los objetos o interferencias que tiene la imagen en el momento que se realiza la captura.

En la extracción de características como lo indica, es seleccionar las características que se desean para el procesamiento de la imagen, ya sea para un software o un algoritmo.

Al momento de identificar el objeto(s) o la persona de la que se quiere extraer las características, se debe analizar mediante un algoritmo que tenga características de decisión para que tome el camino correcto para seleccionar el objeto o la persona a procesar, para luego reconocerla, este algoritmo debe estar previamente definido.

6.2 MARCO TEÓRICO

6.2.1 Inteligencia Artificial (IA)

Para Alan Turing la inteligencia artificial lo da como un ejemplo, en 1950 publicó un artículo llamado Computing machinery and intelligence, donde argumentó en esta época que desde que una máquina de computación pueda actuar como un ser humano se le puede denominar un objeto inteligente. Este matemático planteó una prueba, donde se encierra a una persona y a una máquina en habitaciones distintas, en el que la persona no puede ver la máquina, se pide hacer un reconocimiento y al momento de hacerlo, este reconoce la máquina se puede considerar inteligente, teniendo por referencia este test, el objeto o persona que realice esta prueba y la apruebe, tiene las siguientes capacidades o características.¹⁹

- Aprendizaje.
- Representación de conocimiento.
- Razonamiento.
- Reconocimiento del lenguaje natural.

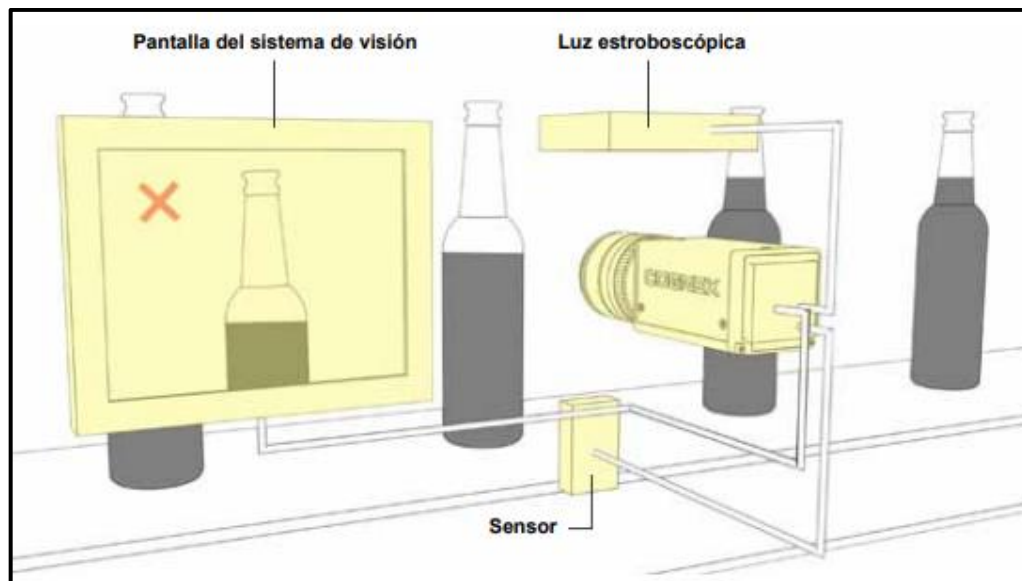
Por otro lado, la I.A. se puede ver en la robótica, en la visión artificial, entre otras grandes áreas de tecnología, por esta razón, hoy en día se habla que la inteligencia artificial, es la combinación de algoritmos planteados con el propósito de crear máquinas que presenten las mismas capacidades que el ser humano.

¹⁹ GARCÍA, Alberto. Inteligencia Artificial. Fundamentos, práctica y aplicaciones. Rc Libros, 2012.

6.2.2 Visión artificial

Para hablar de la visión artificial se debe aclarar que esta hace parte del campo de la inteligencia artificial. Teniendo esto claro, se define como una combinación entre software y hardware para la obtención, análisis y procesamiento de información digital, en este caso imágenes o fotos. Al hablar de visión artificial, también se habla de un algoritmo que por medio de distintas técnicas que la componen se representa un sistema.²⁰ Estas técnicas se basan en procesos que realizan el análisis de imágenes digitales, esto se realiza por medio de; captación de imágenes, memorización de la información, procesamiento e interpretación de los resultados. Estos procesos llevan a distintas áreas de investigación, como; automatiza actividades o tareas repetitivas que realizan los operadores, hacer controles de calidad en distintos aspectos (inventarios, productos, servicios, objetos, etc.), realizar inspecciones de objetos sin contacto físico, inspeccionar el 100% de la producción a gran velocidad, reducir tiempos en de ciclos en procesos automatizados. En la figura 8, se puede observar una aplicación de la visión artificial por medio de la inspección del nivel de llenado de botellas.²¹

Figura 8. Inspección del nivel de llenado de botellas.



Fuente. Introducción a la visión artificial. Repositorio UPTC.

²⁰ Generales, Conceptos. n.d. "Visión Artificial." Disponible en: <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>

²¹ Números, I A D E. 2014. "INTRODUCCIÓN A LA VISIÓN ARTIFICIAL," no. November: 2–4. <https://doi.org/10.13140/2.1.1072.6722>.

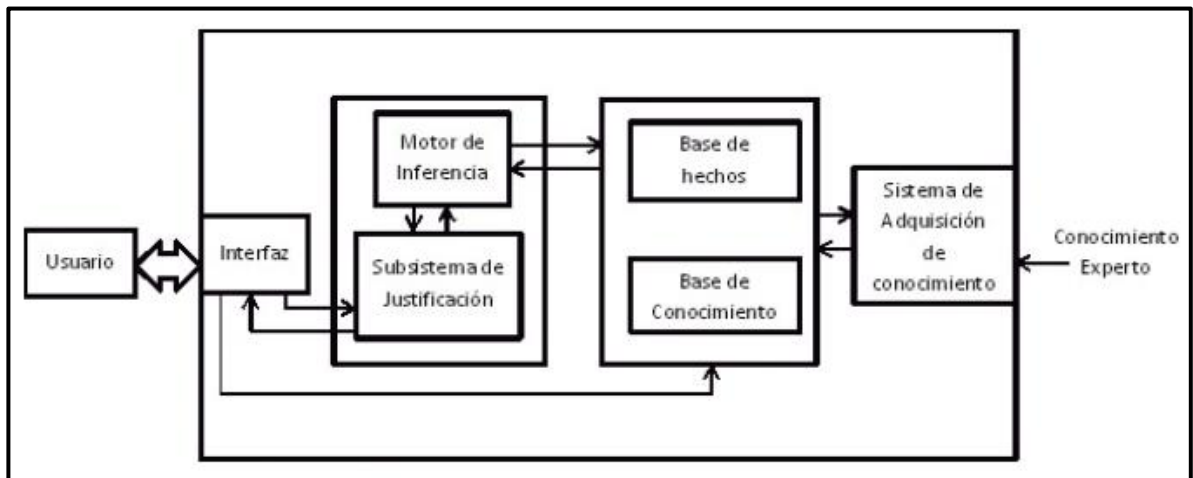
6.2.3 Sistema Experto (SE)

Un Sistema Experto es un sistema que emplea conocimiento humano capturado en una computadora para resolver problemas que normalmente requieran de expertos humanos. Un (SE) se caracteriza por.²²

- Estructura.
- Subsistema de adquisición de conocimiento.
- Base de conocimiento.
- Base de hechos.
- Motor de inferencia.
- Subsistema de justificación.

En la figura 9, Se muestra la estructura que conforma un Sistema experto, donde el conocimiento es ingresado por un experto en el área y se guarda en una base de datos, esta tiene dos funciones guardar nueva información del experto y guardar los hechos a los cuales el usuario está consultando. Este sistema se caracteriza por ser un método de retroalimentación donde el conocimiento se renueva dependiendo de la petición y la respuesta afirmativa o negativa del usuario en cuanto a una situación.

Figura 9. Estructura de un sistema experto.



Fuente. Sistemas Expertos: Fundamentos, Metodologías y Aplicaciones.

Existen diversos tipos de sistemas expertos como los que se exponen a continuación, cada uno tiene una especialidad dependiendo el área donde esté ubicado o el uso que se le.

- Basados en reglas previamente establecidas.

²² BADARÓ, Sebastián; IBAÑEZ, Leonardo Javier; AGÜERO, Martín Jorge. Sistemas expertos: fundamentos, metodologías y aplicaciones. Ciencia y tecnología, 2013, no 13, p. 349-364.

- Representación del conocimiento.
- Reglas “Si...entonces...”.
- Basados en casos.
- Basados en redes bayesianas.
- Sistemas Expertos difusos.

6.2.4 Modelo De Colores

El modelo de colores es un Moledo matemático, el cual es representados por medio de coordenadas a través de los números entre cuatro y tres cifras. Este modelo representa los colores que se ven en las imágenes o fotográficas impresas o digitales, esto permite no solo instituir un espacio único, sino a visualizar como se relucirá esta imagen al momento y hacer su respectiva impresión.

Cuando el modelo de colores se relaciona a una representación de cómo debe interpretarse, el conjunto consiguiente se llama espacio de color. El espacio de color personifica en que puede ajustar las formas de la visión del color humano. Es como imaginar un espacio tridimensional en donde x es: la longitud de onda larga (L) y es: la longitud de onda media (M) y z la longitud de onda corta (S), para el caso del color negro está ubicado en las coordenadas (L, M, S) paso al contrario del color blando que no tiene ninguna ubicación, ya está de acuerdo a la luz ²³

Algunos modelos de colores existentes son los que se nombran a continuación:

6.2.4.1 RGB

Este modelo RGB (Red, Green, Blue). depende del dispositivo y está conformado por los colores (rojo, verde y azul) que son producidos por los puntos, partiendo de los tubos catódicos y lo que genera una mezcla de colores entre ellos mismos.²⁴

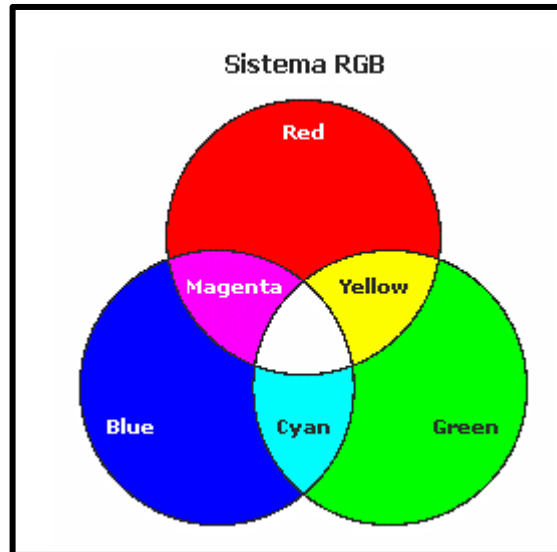
Para RGB se le determina valores entre 0-255, y entre más alto sean los valores significa que contiene un valor de luz blanca muy alta (son colores más claros) a comparación de los que tiene valores menores (colores oscuros). La representación de los colores es por sintaxis decimal (R, G, B) o mediante la sintaxis hexadecimal #RRGGBB, en donde se demuestra que color tiene mayor valor es el que predomina y los que tienen menos valor, se realiza una combinación, para lograr el color resultante.

²³ HISOUR HI SO YOU ARE: Modelos de color [en línea]. Flickr. [Consultado: 01 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.hisour.com/es/color-model-26071/>

²⁴ DESARROLLO WEB: Modelos de color [en línea]. Flickr. [Consultado: 01 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://desarrolloweb.com/articulos/1483.php>

A continuación, en la figura 10, mostraremos unos ejemplos como se representa algunos colores.

Figura 10. Representación de los colores en el sistema RGB



Fuente: Modelos de color. Disponible en: <https://desarrolloweb.com/articulos/1483.php>

Figura 11. Notación de los colores en el sistema RGB

| Notaciones RGB | | |
|----------------|--|---------------|
| hexadecimal | | decimal |
| #A52A2A | | 165, 42, 42 |
| #DEB887 | | 222, 184, 135 |
| #5F9EA0 | | 95, 158, 160 |
| #7FFF00 | | 127, 255, 0 |
| #D2691E | | 210, 105, 30 |
| #FF7F50 | | 255, 127, 80 |
| #6495ED | | 100, 149, 237 |

Fuente: Modelos de color. Disponible en: <https://desarrolloweb.com/articulos/1483.php>

El sistema RGB tiene dispositivos de entrada como de salida.

Dispositivos de entrada:

- Cámaras de televisión
- Cámaras Digitales

Dispositivos de Salida:

- Televisores
- Computadores
- Celulares
- Proyector de videos²⁵

6.2.4.2 CMYK

Para el modelo CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Black). Se basa en la filtración de la luz y es utilizado en la impresión a colores. El color que muestra un objeto pertenece al fragmento de la luz que incide sobre este y que no es impregnada por el objeto. El Modelo CMYK está conformado por los colores (Cyan, Magenta, Amarillo, Negro).

Usados en:

- Pinturas
- Imprenta
- Mediante la reflexión de la luz solar en composiciones de los tintes²⁶

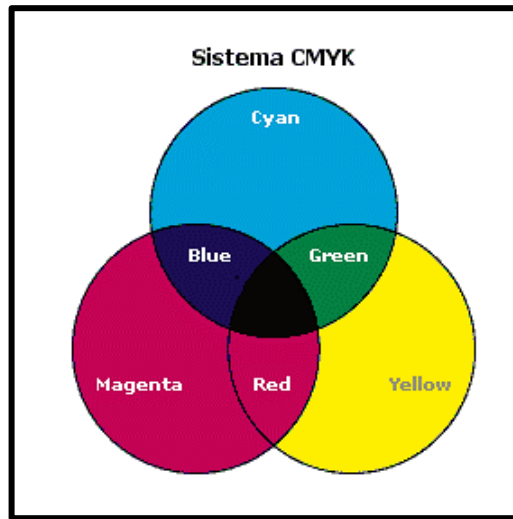
A comparación del modelo RGB que maneja colores aditivos, este modelo CMYK utiliza colores sustractivos y cada uno es complementario ya que pueden crear colores aditivos un par de colores sustractivos y recíprocamente. La representación del color es obtenida por medio de porcentaje de cada color, pero también se puede escribir o interpreta con la nomenclatura del sistema CMYK mediante la expresión (C, M, Y, K), en la que evidencia el porcentaje de cada color, que está conformado ese color obtenido.²⁷

²⁵ HISOUR HI SO YOU ARE: MODELO DE COLOR RGB [en línea]. Flickr. [Consultado: 01 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.hisour.com/es/rgb-color-model-24867/#:~:text=El%20modelo%20de%20color%20RGB,%2C%20rojo%2C%20verde%20y%20azul>

²⁶ LOGO-ARTE: Modelos reproductivos del color: RGB, CMYK y LAB [en línea]. Flickr. [Consultado: 02 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.logo-arte.com/blog-6.htm>

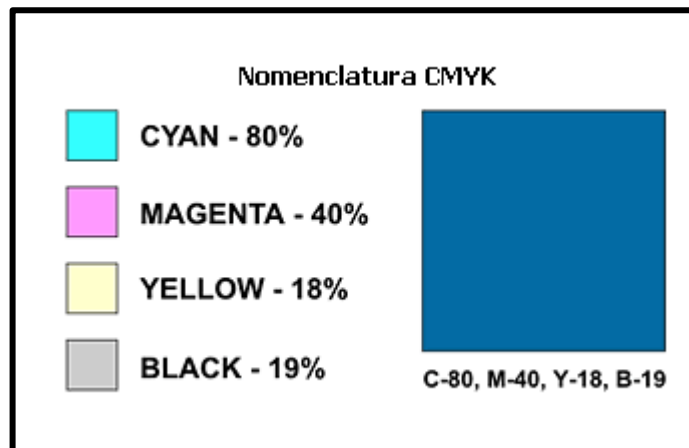
²⁷ DESARROLLO WEB: Modelos de color [en línea]. Flickr. [Consultado: 02 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://desarrolloweb.com/articulos/1483.php>

Figura 12. Representación de los colores en el sistema CMYK



Fuente: Modelos de color. Disponible en: <https://desarrolloweb.com/articulos/1483.php>

Figura 13. Nomenclatura en los colores en el sistema CMYK



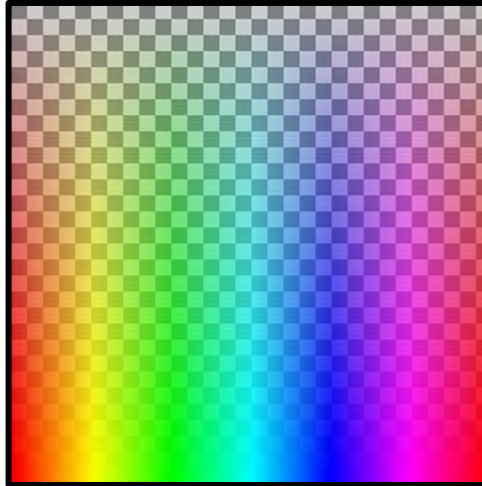
Fuente: Modelos de color. Disponible en: <https://desarrolloweb.com/articulos/1483.php>

6.2.4.3 RGBA

El modelo RGBA es la combinación del espacio de color RGB con los colores rojo, verde, azul y con una combinación del canal alfa muestra que tan gris es cada pixel y eso admite que la imagen se pueda combinar con la transparencia de cada uno

de los píxeles, composición alfa y la suavización de bordes de las regiones opacadas.²⁸

Figura 14. Modelo de los colores en el sistema RGBA



Fuente: Modelo de color RGBA - RGBA color model. Disponible en:
https://es.mihalicdictionary.org/wiki/rgba_color_model

Para la notación de sistema RGBA se utiliza por medio del sistema decimal (R, G, B), que van de 0-255 y la para la ultimo digito (A) VA ENTRE 0-1 donde 0 es totalmente transparente y 1 totalmente opaco, eso puede variar de acuerdo a color que estemos utilizando.

Para la representación del RGBA, se debe guardar en la memoria del computador en los formatos definidos y en este modelo se puede codificar de dos maneras los colores que son:

- Por representación de orden de bytes, en donde RGBA cada letra representa un byte, de acuerdo a su posición, esto se utiliza para los formatos de los archivos o protocolos de la red que están encaminados a los bytes
- Por el orden de las palabras en donde RGBA representa una palabra que equivale a 32 bits, donde la posición de las letras va de acuerdo a la cantidad de bits contiene este carácter ²⁹

Es importante hace referencia que codificación se utiliza de acuerdo a su orden, para este caso existen dos alternativas:

- Sistema big-endian : donde las dos representaciones son equivalentes

²⁸ LA ENCICLOPEDIA LIBRE WIKIPEDIA: Modelo de color RGBA - RGBA color model [en línea]. Flickr. [Consultado: 02 de marzo de 2021]. Disponible en: https://es.mihalicdictionary.org/wiki/rgba_color_model

²⁹ DESARROLLO WEB: Colores RGBA en CSS 3 [en línea]. Flickr. [Consultado: 03 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://desarrolloweb.com/articulos/colores-rgba-css-3.html>

- Sistema little-endian: donde las dos representaciones son contradictorias uno del otro.³⁰

Figura 15. Espacio de color RGBA

| Formato | Ordenado como byte | | Ordenado como palabra | |
|------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| | <i>little-endian</i> | <i>big-endian</i> | <i>little-endian</i> | <i>big-endian</i> |
| RGBA (ordenado como byte) | RGBA8888 | | ABGR32 | RGBA32 |
| ARGB (ordenado como palabra) | BGRA8888 | ARGB8888 | ARGB32 | |
| RGBA (ordenado como palabra) | ABGR8888 | RGBA8888 | RGBA32 | |
| ABGR (ordenado como palabra) | RGBA8888 | ABGR8888 | ABGR32 | |

Fuente: Espacio de color RGBA. Disponible en:
https://es.linkfang.org/wiki/Espacio_de_color_RGBA

6.2.5 Formatos Gráficos

Con el avance que ha tenido la tecnología en los últimos años, la rama que se encarga del diseño gráfico ha trabajado en la variedad de formatos gráficos que existen, para utilizar el formato indicado para el almacenamiento de cada imagen de acuerdo al uso que se le vaya a dar, en calidad y peso.³¹

El formato grafico se guardar por: vectores o pixeles

El tamaño del archivo depende la calidad de la imagen de acuerdo a las características que esta tiene, en donde un pixel de 8 bits de profundidad solo permite 256 colores, mientras que un pixel de 24 bits de profundidad permite 16 millones de colores, lo que se llama el color auténtico³².

A continuación, en la figura 16, se ilustra un resumen, de las características de cada formato

³⁰ LINKFANG: Espacio de color RGBA [en línea]. Flickr. [Consultado: 03 de marzo de 2021]. Disponible en: https://es.linkfang.org/wiki/Espacio_de_color_RGBA

³¹ ARIES: Los formatos más habituales en diseño gráfico [en línea]. Flickr. [Consultado: 02 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://aries.es/los-formatos-mas-habituales-en-diseno-grafico/>

³² WORDPRESS: Representación de imágenes [en línea]. Flickr. [Consultado: 04 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://representacionima.wordpress.com/formatos-graficos/>

Figura 16. Uso vs Formato

| SI DESEA | BMP | GIF | JPEG | PNG |
|---|-----|-----|------|-----|
| Publicar una imagen en un página Web | | x | x | x |
| Exportar fácilmente a otros programas de tratamiento de imágenes | x | | | |
| Comprimir una imagen grande para crear un archivo pequeño y enviarlo por correo electrónico | | x | x | |
| Utilizar áreas transparentes en imágenes | | x | | x |
| Crear archivos de animaciones | | x | | |
| Descomprimir imágenes sin pérdida de calidad | | x | | x |
| Mostrar millones de colores en una imagen | x | | x | x |
| Conservar la calidad de la imagen a lo largo de numerosos procesos de grabación | x | x | | x |

Fuente: Los Formatos Gráficos digitales más utilizados. Disponible en: Estrategia Magazine.

6.2.5.1 JPEG

Este formato es conocido como JPG O JPEG (Joint Photographic Experts Group), que se utiliza demasiado en las imágenes que descargamos del internet. JPG no es un formato grafico sino más bien un método de codificación (que permite convertir un signo de un lenguaje natural a una insignia de otro sistema de representación), que ayuda a comprimir las imágenes.

Al momento de realizar un comprimido de una imagen se va perder información de la fotografía original, esto está de acuerdo a la escala de compresión que va de 0-99 donde 1 es la menor pérdida de información y 99 donde se pierde gran parte de información.

Este formato puede soportar 16 millones de colores, pero a su vez no se puede realizar ningún aplique a de animaciones ni de fondos transparentes. No es un formato multipagina (no puede tener varias imágenes dentro de un mismo archivo). No es muy recomendado para ilustraciones, textos ni bosquejos ³³

³³ ARIES: Los formatos más habituales en diseño gráfico [en línea]. Flickr. [Consultado: 04 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://aries.es/los-formatos-mas-habituales-en-diseno-grafico/>

6.2.5.2 GIF

El formato GIF (Graphics Interchange Format) es utilizado en la web y en plataformas, para las imágenes y las que tiene algún tipo de animación o en movimiento, sin necesidad de algún tipo de aplicación. Es un formato que se ha utilizado desde hace muchos años, utilizando un mapa de bits un poco antiguo a comparación de los que hoy en día existen. Esto genera que su capacidad de colores se muy poca es de tan solo 256 colores, y esto genera pérdidas en las imágenes que tiene gran cantidad de colores. Pero se puede realizar algún tipo de transparencia a las imágenes y es muy utilizado en fotografías pequeñas. No es un formato multipagina (no puede tener varias imágenes dentro de un mismo archivo) y tiene una baja calidad con relación a los otros formatos gráficos que existen.

Pero se ha difundido este tipo de formato, es porque utiliza el sistema de compresión LZW (es un algoritmo que evita las perdidas en la calidad de la imagen, pero no eso no genera que la imagen se mantenga en alta calidad por las pérdidas de colores)³⁴.

6.2.5.3 BMP

BMP (Windows Bitmap), es un formato gráfico, que solo lo ofrece el sistema operativo Microsoft Windows, para la herramienta Paint, que utilizas imágenes pequeñas como fondos de escritorios, logos, etc. Este formato tiene la ventaja de guardar fotografías con cantidad de colores (16 millones) hasta las que tiene poco color (menores a 256). Pero tiene la desventaja de que ocupan una cantidad significativa de espacio en el disco, y no se puede hacer un comprimido ya que pierde la calidad las imágenes, eso hace que este tipo de formato no sea tan utilizado en internet.³⁵ No es un formato multipagina (no puede tener varias imágenes dentro de un mismo archivo) y tampoco soporta animaciones o movimientos y transparencias a las imágenes.

Es muy utilizada en los programas de diseño, ya que tiene como característica de no pierde información y generar imágenes de gran calidad.³⁶

³⁴ ESTRATEGIA MAGAZINE: Los Formatos Gráficos digitales más utilizados [en línea]. Flickr. [Consultado: 04 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.estrategiamagazine.com/tecnologia/los-formatos-graficos-mas-utilizados-en-internet-ventajas-desventajas-comparacion-gif-jpeg-jpg-png-bmp/>

³⁵ ARIES: Los formatos más habituales en diseño gráfico [en línea]. Flickr. [Consultado: 04 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://aries.es/los-formatos-mas-habituales-en-diseno-grafico/>

³⁶ WORDPRESS: Representación de imágenes [en línea]. Flickr. [Consultado: 04 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://representacionima.wordpress.com/formatos-graficos/>

6.2.5.4 PNG

El formato grafico PNG (Portable Network Graphics), fue publicada en el año 1996 el World Wide Web Consortium, era muy desconocidos, hasta hace unos años que se dio a conocer por que es muy compatible con la mayoría de los navegadores.

Este tipo de formato tiene muchas ventajas a comparación de otros formatos, tiene la facilidad de comprimir las imágenes y no perder la calidad eso ha hecho que sea un formato muy popular para la realización de publicidad y lo utilizar mucho los diseñadores gráficos.

PNG admite transparencia y semi transparencia en las imágenes, pero no se puede realizar animación o movimientos, ya que no deja contener varias imágenes en el mismo formato.

Este formato está basado en el algoritmo de compresión sin pérdidas para bitmaps, que ayuda a mejorar las desventajas que tiene GIF y es capaz de utilizar RGB, lo que ayuda que este formato se muy utilizado, ya que puede soportar 16 millones de colores y no se pierda la información y permite una alta compresión. Png permite que estas imágenes se puedan editar en programas edición de manera libre.

Las desventajas que tienen son:

- No realizan animaciones o movimiento.
- No es un formato multi-página (no puede tener varias imágenes dentro de un mismo archivo)
- Imágenes con diversos colores y elementos alcanzan a pesar más que en un formato de JPG.
- No permite modo CMYK.
- No es compatible con los navegadores antiguos.³⁷

6.2.6 Métricas De Medición En Las GANs

A continuación, se explican y se detallan las métricas correspondientes para evaluar y medir el rendimiento de una Red Generativa Adversaria (GAN).

6.2.6.1 Puntaje Inicial (Inception Score)

Es una métrica para evaluar automáticamente la calidad de los modelos generativos de imágenes o figuras del conjunto de datos (dataset). Se demostró que esta

³⁷ ARIES: Los formatos más habituales en diseño gráfico [en línea]. Flickr. [Consultado: 04 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://aries.es/los-formatos-mas-habituales-en-diseno-grafico/>

medida se correlaciona de una buena forma con la puntuación humana del realismo de las imágenes generadas a partir de cierto conjunto de datos.³⁸ El puntaje inicial se calcula con la ecuación (1).

$$IS(G) = \exp \left(E_{X \sim p_g} D_{KL} (p(y|x) || p(y)) \right) \quad (1)$$

Como se evidencia en la ecuación (1), la distribución de probabilidad y la distribución de probabilidad marginal se combinan por medio de este operador “||”. Al momento de combinar las probabilidades $p(y|x)$ y $p(y)$, se obtiene un resultado haciendo el cálculo, entre más difieran, es más alta la puntuación que se obtiene como resultado y es este mismo el puntaje inicial (IS). La divergencia D_{KL} , crece si las distribuciones de probabilidad difieren bastante entre sí.

Estos dos términos representan cualidades diferentes que son deseables en imágenes reales que se enumeran en la parte a continuación.³⁹

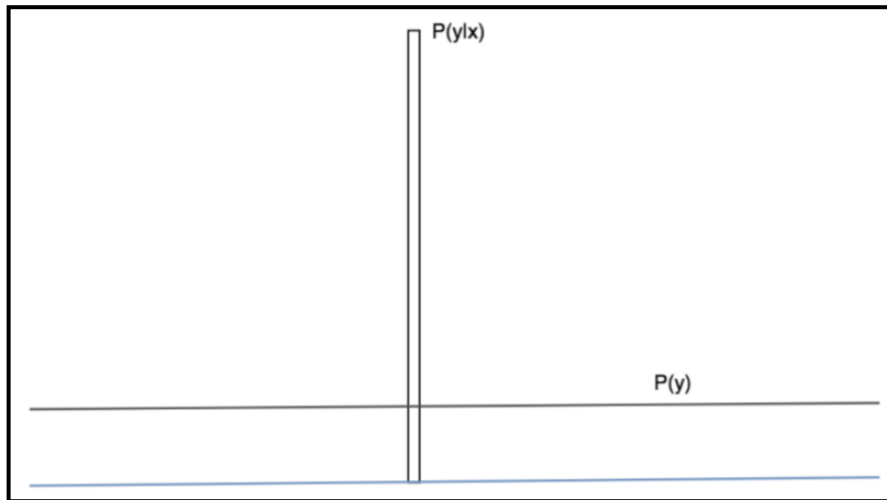
1. La imagen generada debe tener objetos que sean significativos (claros y no borrosos). Esto significa que $p(y|x)$ tiene baja entropía. En otras palabras, la muestra inicial debe pertenecer a una clase particular.
2. Las imágenes generadas deben ser diversas. Esto significa que $p(y)$ tiene alta entropía. Esto quiere decir que, el generador debe producir imágenes de manera que cada imagen represente una etiqueta de clase diferente.

Los dos conceptos anteriormente descritos, se pueden visualizar en la figura 17.

³⁸ BUHIGAS, Javier. Todo lo que necesitas saber sobre las GAN: Redes Generativas Antagónicas [blog]. Blog Puentes Digitales. España 05 de abril de 2019. [Consultado: 07 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://puentesdigitales.com/2019/04/05/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-las-gan-redes-generativas-antagonicas/>

³⁹ Barratt, Shane, and Rishi Sharma. 2018. “A Note on the Inception Score.” ArXiv.

Figura 17. Gráficas ideales de $p(y|x)$ y $p(y)$.



Fuente: Artículo. Are GANs Created Equal? A Large-Scale Study.

Por lo anterior, si una variable aleatoria es bastante predecible, entonces tiene baja entropía ($p(y|x)$ debe ser una distribución con un pico agudo). En el caso contrario, si es impredecible, tiene una alta entropía ($p(y)$ debe ser una distribución uniforme). En caso de que ambos rasgos son satisfechos, se debe esperar una gran divergencia KL entre $p(y|x)$ y $p(y)$. Normalmente, un alto puntaje inicial (IS) es mucho mejor.

6.2.6.2 Distancia de inicio Fréchet (Fréchet Inception Distance, FID)

Es una de las métricas para poder evaluar el rendimiento de una GAN, ésta se utiliza para extraer características de una capa intermedia. Mientras que las estadísticas de los datos reales del puntaje inicial no se comparan con las estadísticas de los datos generados, el FID sí lo realiza, ya que compara la media y la covarianza de las imágenes reales y generadas. El proceso que FID realiza para hacer esta comparación es muy parecido al proceso y análisis del puntaje inicial, solo que los mapas de características generados al pasar por imágenes reales y producidos deben ser entrenados previamente por una red denominada Inception-v3.

Inception-v3, es una red dentro de arquitectura convolucional, está diseñada para tareas de clasificación. Lo anterior se puede explicar como un conjunto de datos que consta de 1.2 millones de imágenes RGB de 1000 clases y esta misma las clasifica, dada una imagen x , la tarea de la red es generar una etiqueta de clase y forma de un vector de probabilidades $p(y|x)$, indicando la probabilidad que la red asigna a cada uno de las etiquetas de clase. Inception-v3 es una de las redes más utilizadas para el aprendizaje por transferencia y los modelos previamente entrenados están disponibles en la mayoría del software de aprendizaje profundo.

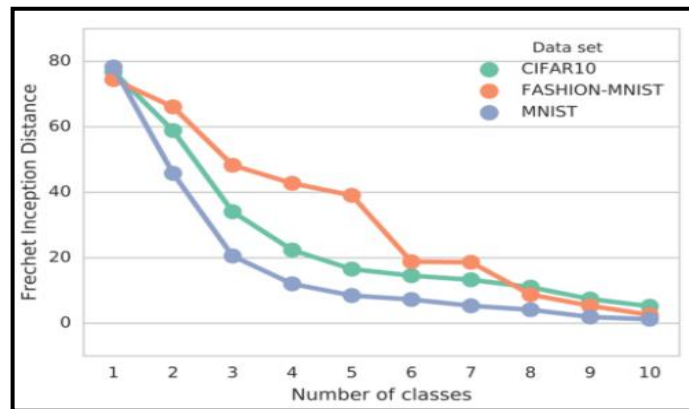
El FID se calcula entre las imágenes reales (x) y las imágenes generadas (g) de la siguiente forma, ecuación (2).

$$FID(x, g) = \|\mu_x - \mu_g\|_2^2 + Tr(\Sigma_x + \Sigma_g - 2(\Sigma_x \Sigma_g)^{\frac{1}{2}}) \quad (2)$$

Donde μ es la media y Σ es la covarianza dependiendo de sus subíndices, Tr suma todos los elementos diagonales de las imágenes. Si el resultado de la ecuación (2) o del FID es pequeño y no menor a 1, significa una mejor calidad de imagen y mayor diversidad en las muestras iniciales del conjunto de datos.

En la figura 18, se evidencia que el FID es sensible al colapso de modo, es decir la distancia aumenta con los modos perdidos simulados del dataset presentado en la figura. Se evidencia el FID con respecto al número de clases de cada conjunto de datos; CIFAR10, FASHION-MNIST y MNIST.⁴⁰

Figura 18. Puntuación de FID.



Fuente: Artículo. Are Gans Created Equal? A Large-Scale Study.

La Distancia de inicio Fréchet, es más resistente al ruido que el puntaje inicial (IS). Si el modelo solo genera una imagen por clase, la distancia será alta y FID es una mejor medida para la diversidad de imágenes. Si este tiene un resultado bastante alto la varianza será baja. Al calcular el FID entre un conjunto de datos de entrenamiento y un conjunto de datos de prueba, se debería esperar que este sea cero, ya que ambos son imágenes reales.⁴¹

⁴⁰ Lucic, Mario, Karol Kurach, Marcin Michalski, Olivier Bousquet, and Sylvain Gelly. 2018. "Are Gans Created Equal? A Large-Scale Study." Advances in Neural Information Processing Systems 2018-December (Nips): 700–709.

⁴¹ Lucic, Mario, Karol Kurach, Marcin Michalski, Olivier Bousquet, and Sylvain Gelly. 2018. "Are Gans Created Equal? A Large-Scale Study." Advances in Neural Information Processing Systems 2018-December (Nips): 700–709.

6.2.7 Google colab

Google es bastante agresivo en la investigación de IA. Durante muchos años, Google desarrolló un marco de inteligencia artificial llamado TensorFlow y una herramienta de desarrollo llamada Colaboratory. En la actualidad, TensorFlow es de código abierto y, desde 2017, Google hizo que Colaboratory fuera gratuito para uso público. Colaboratory ahora se conoce como Google Colab o simplemente Colab. Otra característica atractiva que ofrece Google a los desarrolladores es el uso de GPU. Colab es compatible con GPU y es totalmente gratuito. Las razones para hacerlo gratis para el público podrían ser hacer de su software un estándar en los académicos para la enseñanza del aprendizaje automático y la ciencia de datos. También puede tener una perspectiva a largo plazo de crear una base de clientes para las API de Google Cloud que se venden por uso. Independientemente de las razones, la introducción de Colab ha facilitado el aprendizaje y el desarrollo de aplicaciones de aprendizaje automático.⁴²

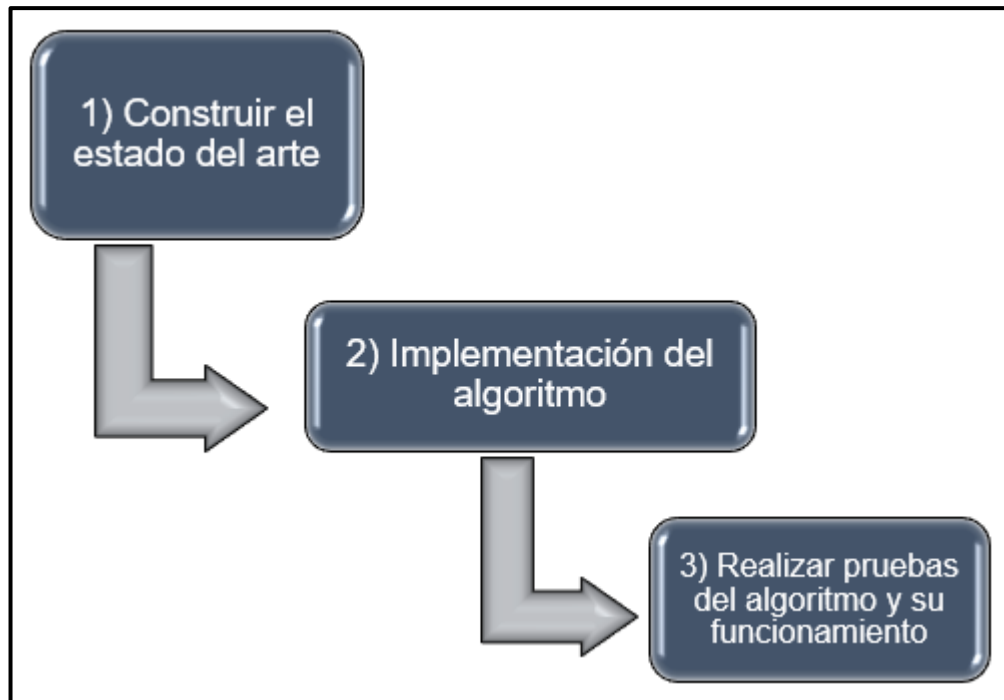
⁴² DE LA FUENTE SANZ, Óscar Martín. Google Colab: Python y Machine Learning en la nube [blog]. Blog Adictos al trabajo. España 04 de junio de 2019. [Consultado: 07 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.adictosaltrabajo.com/2019/06/04/google-colab-python-y-machine-learning-en-la-nube/>

7. METODOLOGÍA

7.1 FASES DEL PROYECTO

A continuación, se describen las fases del proyecto que se llevarán a cabo, con base en los objetivos específicos, se siguen unas actividades cronológicamente. En la figura 19, se observa la estructura de la metodología el cual contiene una serie de etapas, estas se explican a continuación.

Figura 19. Estructura de la metodología.

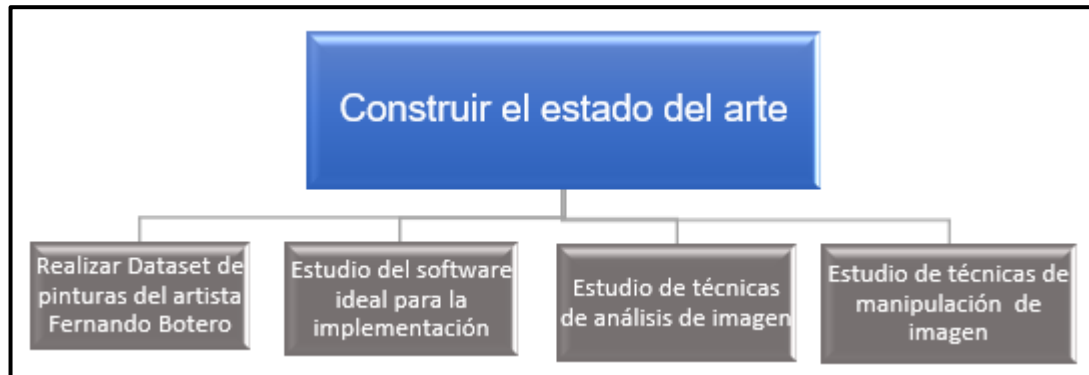


Fuente: Autores.

7.1.1 Etapa 1. Construir el estado del arte

En esta etapa, todas las actividades están destinadas a la recopilación de información necesaria para el inicio del proyecto. Para esta etapa se establecerán las actividades que se evidencian en la figura 20 donde expresen de mejor manera los pasos a seguir para cumplir el primero objetivo específico.

Figura 20. Construir el estado del arte.



Fuente: Autores.

Actividad 1.1. Se recopiló información sobre técnicas de análisis de imagen, para esto se realizó una investigación avanzada en bases de datos con respecto a trabajos o artículos ya realizados y sus aplicaciones. Con esto, se busca escoger la mejor herramienta posible para la extracción de características de las obras de arte digitalizadas del pintor Colombiano Fernando Botero.

Actividad 1.2. Se busco diferentes técnicas utilizadas para la manipulación de imágenes, con el fin de manejar imágenes digitalizadas y convertirlas en cuadros que representen el movimiento artístico de Fernando Botero.

Actividad 1.3. Se hizo un estudio de los diferentes softwares para identificar uno ideal para implementación en este proyecto, para esto se dispuso hacer comparaciones con los softwares disponibles en el mercado los cuales en primera parte deben ser de libre acceso (Open Source) y en segunda instancia, su nivel de complejidad en cuanto a su uso.

Actividad 1.4. Se realizo un data set de las imágenes de los cuadros del pintor Fernando Botero con el fin de introducirlos en una técnica de análisis de imagen.

Recursos a utilizar. Repositorio de la Universidad Católica de Colombia, bases de datos Open Source, Recurso Web.

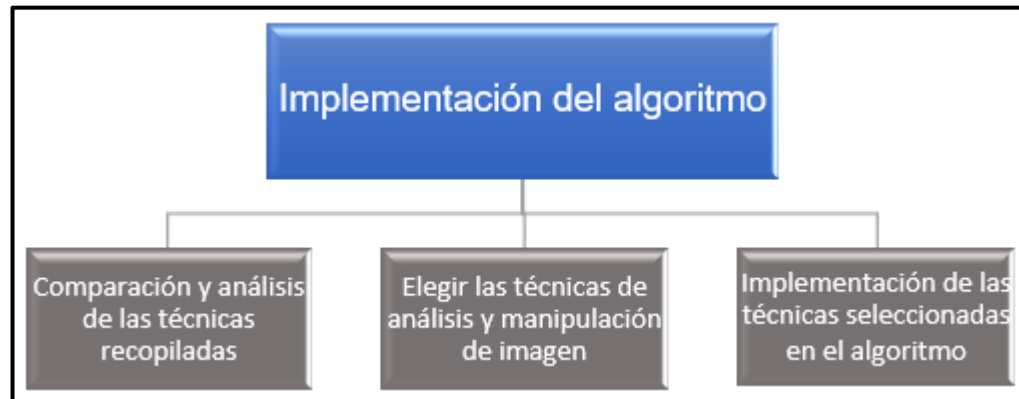
7.1.2 Etapa 2. Implementación del algoritmo

En esta etapa, todas las actividades fueron destinadas a la selección e implementación de las técnicas de análisis y manipulación de imagen con el fin de cumplir con las necesidades del objetivo principal del proyecto.

Para la elección de esta técnica se hizo una previa comparación y análisis de las características de cada una de las técnicas encontradas en la recopilación de información planteada en la primera etapa.

Para esta etapa se estableció algunas actividades que expresen de mejor manera los pasos a seguir para cumplir el segundo objetivo específico, estas se evidencian en la figura 21.

Figura 21. Implementación del algoritmo.



Fuente: Autores.

Actividad 2.1. Se realizó una clasificación y comparación de las diferentes técnicas recopiladas con el fin de medir su complejidad y métodos de aplicación para determinar la técnica ideal para las necesidades de este proyecto.

Actividad 2.2. Se realizó una evaluación de los resultados obtenidos en la actividad anterior para escoger las técnicas ideales para su debida implementación.

Actividad 2.3. Para esta actividad se definió unas subtarefas las cuales tendrán como objetivo la implementación de las técnicas seleccionadas anteriormente

- Se seleccionó el tipo de lenguaje y la herramienta de desarrollo previamente estudiados en la etapa 1, con el fin de que sean los más adecuados para la implementación del algoritmo.
- Se construyó la lógica base del algoritmo que permitió la integración del Dataset de las imágenes seleccionadas.
- Se identificó la metodología más práctica para incorporar las técnicas de análisis y manipulación de imagen al código base.
- Se implementó un algoritmo basado en las técnicas escogidas dentro del código principal del proyecto.

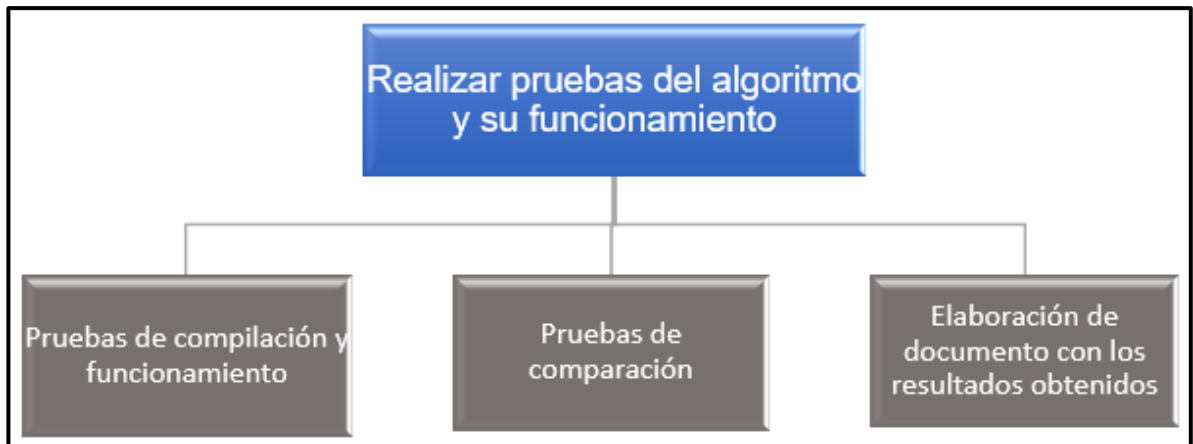
Recursos a utilizar. La comparación, elección, e implementación de la técnica de manipulación de imagen se hizo a través de la documentación de las técnicas registradas.

7.1.3 Etapa 3. Realizar pruebas del algoritmo y su funcionamiento

En la etapa final del proyecto se buscó validar que el resultado obtenido por el algoritmo sea similar a las pinturas del movimiento artístico de Fernando Botero.

Para esta etapa final que se observa en la figura 22, se estableció algunas actividades que expresen de mejor manera los pasos a seguir para cumplir el tercer objetivo específico.

Figura 22. Realizar pruebas del algoritmo y su funcionamiento.



Fuente: Autores.

Actividad 3.1. Se hicieron una serie de pruebas de verificación en las cuales comprende de la compilación del algoritmo y su debido funcionamiento.

Actividad 3.2. Se hicieron pruebas de comparación en las que el algoritmo estará sujeto a verificaciones por medio de un software que mida el puntaje de similitud de una pintura real versus una creada por el algoritmo del proyecto.

Actividad 3.3. Se recopiló toda la información y resultados obtenidos de esta investigación para después hacer la respectiva documentación.

8. ESTADO DEL ARTE

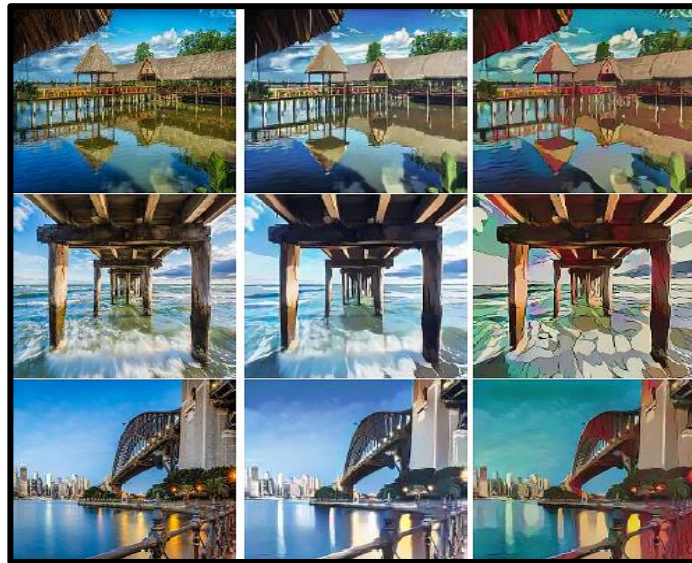
El estado del arte aborda temáticas a cerca de las distintas técnicas de manipulación de imágenes, la visión artificial y la inteligencia artificial (IA). Estas tienen en común que se implementan por medio de un algoritmo, Para el caso de la presente investigación, se aplican técnicas de IA sobre el movimiento artístico de Fernando Botero o también llamado el Boterismo. Durante la investigación se nombran y se referencian artículos científicos y trabajos investigativos a cerca de la temática abordada en este proyecto de grado.

En 2018 Yang Chen, Yu-Kun Lai y Yong-Jin Liu publicaron un artículo⁴³, donde proponen una solución para transformar fotos de escenas del mundo real en imágenes de estilo de dibujos animados, con el fin de utilizar dichas imágenes y hacer que las escenas en el mundo animado sean mucho más realistas, además de ahorrar bastante tiempo y enfoque a los que dibujan escenarios, en este articulo proponen el uso de un marco de red generativa adversarial (GAN) para la estilización de dibujos animados el cual consta de dos CNN redes neuronales convolucionales. Uno es el generador G que está entrenado para producir una salida que engaña el discriminador. El otro es el discriminador D que clasifica si la imagen es de la variedad de destino real o sintético. Esto quiere decir que las redes pueden adaptarse a la particularidad de las imágenes de dibujos animados o artistas con sus estilos únicos

De esta forma como se muestra en la figura 23 se toman diferentes imágenes reales y caricaturiza la imagen real

⁴³ Chen, Yang, Yu Kun Lai, and Yong Jin Liu. 2018. "CartoonGAN: Generative Adversarial Networks for Photo Cartoonization." Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 9465–74. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00986>.

Figura 23. Pantalla de inicio del sistema de control.

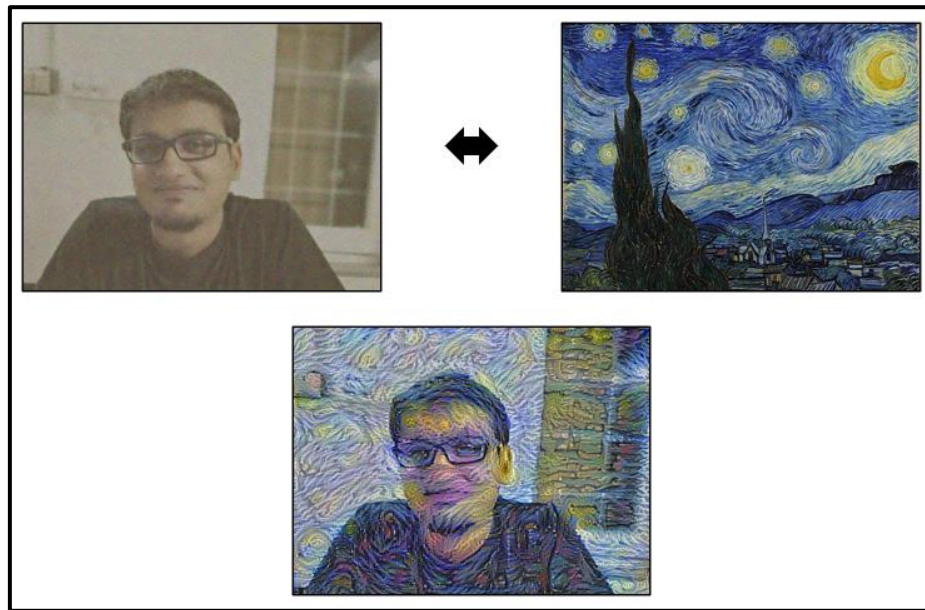


Fuente: CartoonGAN: Generative Adversarial Networks for Photo CartoonizationArt.

En 2019 Patreek Karkare publicó un artículo, donde habla de generar arte al estilo de Van Gogh y Monet para que no se quede en el olvido ya que estos personajes artísticos actualmente han fallecidos. Esta generación de arte la hizo por medio de una red VGG que es una red predefinida y verificada para el reconocimiento facial, luego esta red la ejecutó en el algoritmo de transferencia neuronal. Posteriormente se usa una capa oculta intermedia para calcular las funciones de costo, y finalmente minimizar la función de costo total para la implementación del algoritmo en una imagen o foto. Patreek lo que hizo fue tomar una foto de él mismo para y la pintura La noche estrellada de Van Gogh, para combinarlas y generar arte al estilo de Vincent Van Gogh como se muestra en la figura 24⁴⁴.

⁴⁴ KARKARE, Prateek. Neural Style Transfer — Using Deep Learning to Generate Art [blog]. Blog Medium. Bengaluru, Karnataka, India. 06 de septiembre de 2019. [Consultado: 20 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://medium.com/x8-the-ai-community/neural-style-transfer-using-deep-learning-to-generate-art-651d9ccf740c>

Figura 24. Pantalla de inicio del sistema de control.



Fuente: Neural Style Transfer - Using Deep Learning to Generate Art.

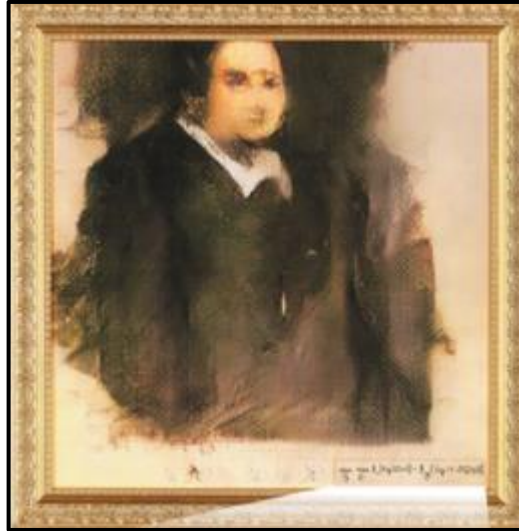
En la Universidad de Paderborn en Alemania, Stanislav Smirnov presenta el artículo, Deep learning for object detection in fine-art paintings, basandose en la detección automatizada de pinturas de las bellas artes, esto lo hace por medio de Deep Learning de una forma no lineal para extraer y aprender características de los datos o en este caso de las imágenes que se utilizaron para entrenar el modelo de redes neuronales convolucionales (CNN), relacionando una CNN origen y una CNN destino, de esta forma permite compartir características aprendidas, dando un resultado mucho más efectivo a la hora de realizar la detección de pinturas de las bellas artes.⁴⁵

En diciembre de 2019 Tejesh Kinariwala presenta el artículo Generating art from neural networks donde se enfoca en las redes generativas antagónicas o por sus siglas en inglés GAN. El autor dice que lo más importante de estas redes es cuando se combinan con las redes neuronales convolucionales, ya que se especializan en el reconocimiento de objetos y el procesamiento de imágenes. Esta tecnología ha evolucionado desde detectar un objeto en una imagen hasta entender el significado del por qué ese objeto está en la foto o imagen. Por esta razón y yendo más allá del reconocimiento de objetos o personas, como se observa en la figura 25, las GAN

⁴⁵ Smirnov, Stanislav, and Alma Eguizabal. 2018. "Deep Learning for Object Detection in Fine-Art Paintings." 2018 IEEE International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, MetroArchaeo 2018 - Proceedings, 45–49. <https://doi.org/10.1109/MetroArchaeo43810.2018.9089828>.

por medio de un algoritmo desarrollado por Ian Goodfellow, generaron una pintura de un hombre vestido de negro.⁴⁶

Figura 25. Pantalla de inicio del sistema de control.



Fuente: Generating art from neural networks.

En el año 2019 Xin Yang publicó su trabajo Exposing GAN-synthesized Faces Using Landmark Locations,⁴⁷ el cual realiza un método que se basa en las observaciones de las configuraciones de las partes faciales generadas por los modelos GAN y que genera rostros diferentes de las caras reales, este documento explica el procedimiento que realizaron los investigadores para usar puntos de referencias faciales alineados como características para distinguir imágenes de rostros humanos falsos sintetizados por PGGAN. En la figura 26 muestra algunos ejemplos de resultados de predicción en conjuntos de datos de PGGAN y CelebA. Las caras sintetizadas por PGGAN con artefactos podrían predecirse correctamente como caras falsas, y las que se predice falsamente que son reales en su mayoría no tienen defectos visibles.

⁴⁶ KINARIWALA Tejesg. Generating art from neural networks [blog]. Blog Worldquant. India. 16 de diciembre de 2019. [Consultado: 25 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.weareworldquant.com/en/thought-leadership/generating-art-from-neural-networks/>

⁴⁷ Yang, Xin, Yuezun Li, Honggang Qi, and Siwei Lyu. 2019. "Exposing GAN-Synthesized Faces Using Landmark Locations." IH and MMSec 2019 - Proceedings of the ACM Workshop on Information Hiding and Multimedia Security, no. March: 113–18. <https://doi.org/10.1145/3335203.3335724>.

Figura 26. Ejemplos de predicciones correctas e incorrectas en conjuntos de datos CelebA y PGGAN.



Fuente: Exposing GAN-synthesized Faces Using Landmark Locations.

El congreso de sistemas inteligentes de la Universidad Tecnológica Malek-Ashtar en Irán, presentó el artículo Generating Art Tile Patterns using Genetic Algorithm⁴⁸, donde explica la generación de patrones artísticos por medio de un algoritmo genético, donde lo componen los siguientes pasos; la población inicial o también la representación, donde se utiliza la cuarta parte de una imagen y a esto se le llama cromosoma. Está la reproducción y mutación para generar descendencia, donde se encarga de crear 100 réplicas de la muestra tomada anteriormente. En esta descendencia se utilizan tres mutaciones diferentes; el intercambio de dos puntos aleatorios, copiar el valor de un punto a otro punto totalmente aleatorio, y asignar un valor aleatorio a otro punto. Por último, se encuentra la selección basada en iteraciones, donde itera mínimo 15000 veces, acá se seleccionará el candidato con función de costo mínimo que está basado en las iteraciones realizadas, entre más iteraciones mayor el costo de función y si en algún momento sobran muestras de iteraciones, estas serán eliminadas.

⁴⁸ Mirjalili, Seyedali. 2019. "Genetic Algorithm." Studies in Computational Intelligence 780: 43–55. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93025-1_4.

9. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

De acuerdo a lo descrito previamente en la metodología, en este apartado se describen los procedimientos realizados para profundizar la información requerida para el modelo computacional con el fin de representar el Boterismo. Lo cual comprende 5 vertientes bastante importantes como lo son:

- El software ideal para el desarrollo del modelo
- Los requerimientos físicos: que se deben tener en cuenta para el procesamiento de las imágenes, este componente se encargó de tener en alta prioridad el hardware mínimo y disponible para el desarrollo del proyecto.
- Las técnicas de análisis de imagen
- El estudio del algoritmo de manipulación y entrenamiento de imágenes.
- Realización del Dataset

Para lograr esta actividad se planteó de forma ordenada una serie de pasos que condensan este trabajo, y logre una definición más clara de los parámetros, condiciones y requerimientos principales adecuadas para el funcionamiento de este proyecto.

9.1 REQUERIMIENTOS DEL SOFTWARE

El software es el componente lógico donde se ejecutan las tareas demandadas por el algoritmo; por esta razón es muy importante saber que requerimientos tiene el sistema con respecto al software. Los requerimientos de software son características que debe tener el software instalado en el ordenador donde se ejecute el desarrollo planteado en el proyecto. Los requerimientos pueden ser acerca de los sistemas operativos o aplicaciones que requieran el modelo propuesto. Los requerimientos esenciales para este proyecto van enfocados al uso de software "Open Source" o de acceso libre, y esto debido al costo extra que generaría la adquisición de un software en el mercado. Además, el software debe ser compatible con las aplicaciones del sistema y del lenguaje de programación se utiliza en este proyecto.

Ahora, El lenguaje de programación que se utilizó para el proyecto es Python, debido a que en la actualidad es bastante popular y ha sido utilizado para grandes y pequeños proyectos de gran utilidad para la comunidad científica. Además, de ser un lenguaje de programación totalmente gratuito ya que su código es totalmente abierto (Open Source), esto quiere decir que está a disposición del público y no permite vulneraciones al trabajo del programador y su propiedad.

Python también es multiparadigma y multiplataforma, esto quiere decir que es versátil para hacer proyectos, sea para sitios web o aplicaciones de inteligencia artificial, Es tal que Python permite desarrollar bajo paradigmas de programación avanzados, tales como:

- Desarrollo de software
- Desarrollo de páginas web
- Aplicaciones financieras
- Desarrollo de Videojuegos.
- Desarrollo de diseño y gráficos

Ahora bien, para realizar el proyecto se utilizó varias herramientas que contiene Pyhton y que de igual manera son gratuitas, estas herramientas como: OpenCV, Matploit, Pytorch, Pandas, son muy útiles debido a que son bibliotecas o librerías que tienen como función el análisis de datos y de imagen, a lo que se llamaría, visión artificial y redes neuronales (Ramas de la inteligencia artificial), esto quiere decir que estas librerías permiten el análisis de imagen, aprendizaje no supervisado, usando una infinidad de algoritmos para identificar y reconocer caras, extraer características especiales y demás funciones que necesite el proyecto

Estas bibliotecas son multiplataformas lo que significa que puede ejecutarse en diferentes sistemas operativos como: Mac OS, Windows, iOS, Android y Linux; Y también se puede utilizar en diferentes lenguajes de programación como: Java, Objective C y Python, siendo este último del interés del proyecto. Además de esto este software es totalmente libre.

9.2 ANÁLISIS DEL COMPONENTE FÍSICO

Dado que es un componente vital para que el modelo creado entrene una enorme cantidad de imágenes, es imperativo elegir un ordenador lo suficientemente eficiente para hacer uso de los procesos ya definidos como: La captura de la imagen, segmentación, extracción de características, y entrenamiento. Por esta razón se llegó a la conclusión que entre más recursos tenga el ordenador, este podrá manejar mejor el modelo propuesto.

Los ordenadores de los autores, aunque muy poderosos, con características tales como: 4 GB de RAM, procesadores de i5 10th Gen, y con una GPU de más de 4 GB no es suficiente para el desarrollo solicitado.

Sin embargo, con el fin de no aumentar los costos propuestos para este proyecto, se vio la oportunidad de utilizar los servidores de Google para dicho trabajo, estos servidores o espacios de trabajo llamados “Google Colabority” o Colab son especialmente para estudiantes o científicos los cuales pueden utilizarlos gratuitamente para trabajar en proyectos de desarrollo en IA (inteligencia artificial)

Una de las grandes ventajas de estos servidores es que tienen grandes capacidades de procesamiento los cuales superan a los ordenadores de los autores,

además, se pueden ejecutar programas en el lenguaje de programación Python lo cual simplifica la tarea debido a que el modelo está escrito en este.

9.3 TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL UTILIZADAS EN EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

El enorme crecimiento del desarrollo que está viviendo la tecnología asociada a la inteligencia Artificial (IA) en los últimos tiempos, da lugar a las nuevas herramientas y aplicaciones que se usan. Es tal el caso que una de las áreas donde mas se ve realizados avances tecnológicos, es el procesamiento y manipulación de imágenes y esto en parte gracias al desarrollo de nuevas técnicas de Deep Learning o aprendizaje profundo. De lo anterior se identifica como el procesamiento digital de imágenes ha sido gran prioridad en la actualidad por el gran uso de artefactos digitales de captura de imagen o incluso el uso masivo de las redes sociales por esta razón ha habido la necesidad de mejorar a la implementación diferentes técnicas de inteligencia artificial.

Las técnicas IA más utilizadas en las últimas décadas para el procesamiento de imágenes según (Ali et al. 2015) son las redes neuronales, los sistemas difusos y los algoritmos evolutivos en donde se destacan los sistemas inmunes artificiales y la inteligencia de enjambre.⁴⁹

A continuación, se presentan las técnicas de inteligencia artificial más usadas en el procesamiento digital de imágenes.

9.3.1 Sistemas difusos

Los sistemas de lógica difusa manejan en contexto lógica difusa la cual toma dos valores aleatorios, pero contextualizados y referidos entre sí, esto quiere decir, escoger dos valores que pueden ser referidos para la misma situación comparados para un mismo fin. Un ejemplo básico de esta lógica es escoger dos valores aleatorios y contextualizarlos en el precio de un vehículo (costoso, o barato) a partir de un umbral los valores escogidos toman la etiqueta de vehículo costoso o barato. En la teoría de conjuntos difusos se definen también las operaciones de unión, intersección, diferencia, negación o complemento, y otras operaciones sobre conjuntos, en los que se basa esta lógica.⁵⁰

Ahora Zadeh los sistemas difusos han tenido una gran aplicación en la ingeniería principalmente en las áreas de control y procesamiento digital de imágenes desde

⁴⁹ Ali, M. et al., 2015. An image watermarking scheme in wavelet domain with optimized compensation of singular value decomposition via artificial bee colony. Information Sciences, 301, pp.44–60. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2014.12.042>.

⁵⁰ LA ENCICLOPEDIA LIBRE WIKIPEDIA: Lógica difusa [en línea]. Flickr. [Consultado: 05 de marzo de 2021]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_difusa

1965⁵¹, y complementa que estos tipos de sistemas se han usado en el análisis y procesamiento imágenes ya que no limitan numéricamente los desarrollos propuestos, y esto bastante es útil cuando se trabaja con bases de datos imágenes las cuales pueden contener una cantidad considerable de archivos, y esto debido a que sus características no se pueden delimitar de una forma exacta.

9.3.2 Inteligencia de enjambre

La tecnología siempre tiende a imitar la naturaleza ya sea por sus características particulares de resolver los problemas o por su facilidad a la adaptabilidad, y esto es bastante evidente en la inteligencia de enjambre, una inteligencia inspirada en el comportamiento animal de muchos animales que trabajan en equipo. La inteligencia de enjambre es una rama de la inteligencia artificial que estudia los sistemas descentralizados o autoorganizados para darle al sistema artificial propiedades inspiradas en el comportamiento de los animales que viven colectivamente y todo con el fin de realizar una tarea específica.⁵²

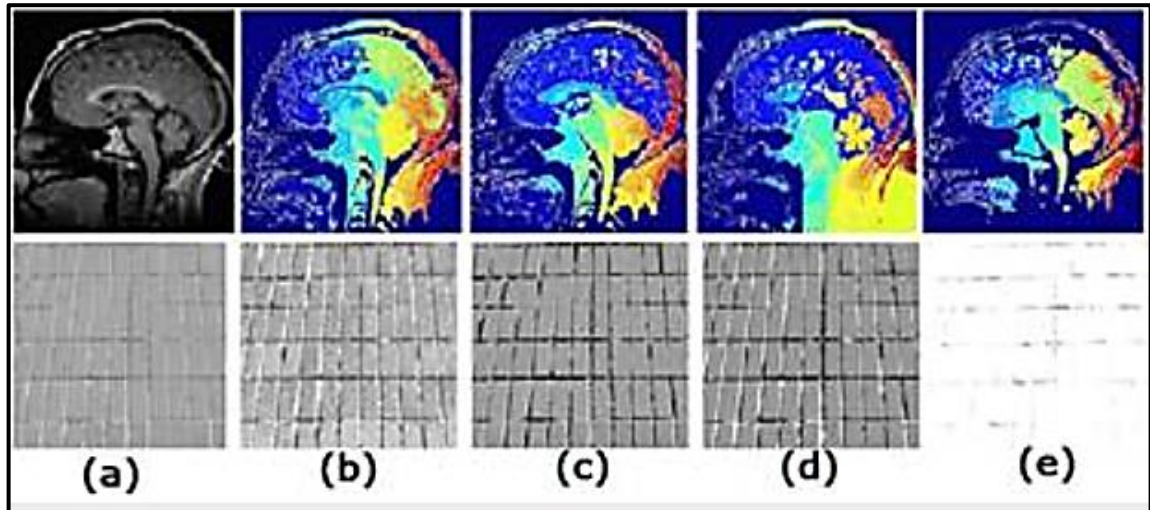
Este tipo de inteligencia tiene bastantes modelos o algoritmos basados en funcionamiento de grupos de trabajo colectivo, entre los que encuentran las colonias de hormigas, abejas, crecimiento de bacterias, grupos de aves, peces y el pastoreo de animales.⁵³ Un ejemplo claro es el modelo de la colonia de abejas ya que es muy famoso para realizar tareas de optimización y análisis de imágenes por su fácil implementación, debido a que la segmentación de imágenes hace un proceso mediante el cual se divide una imagen en múltiples segmentos de píxeles y es típicamente usado para localizar elementos en una imagen. Como se evidencia en la figura 27 un desarrollo del Algoritmo ABC (artificial Bee Colony) con un sistema difuso integrado FABC.

⁵¹ Ngan, S., 2017. A unified representation of intuitionistic fuzzy sets, hesitant fuzzy sets and generalized hesitant fuzzy sets based on their u-maps., 69, pp.257–276.

⁵² El algoritmo “Artificial Bee Colony” (ABC) y su uso en el Procesamiento digital de Imágenes

⁵³ Mavrovouniotis, M., Li, C. & Yang, S., 2017. A survey of swarm intelligence for dynamic optimization: Algorithms and applications. Swarm and Evolutionary Computation journal, 33(January), pp.1–17.

Figura 27. (a)Imagen original, segmentación por (b) FABC, (c) PSO, (d) GA, (e) EM



Fuente: (Bose & Mali 2016)

Como se ve en la figura anterior se compara el FABC (Fuzzi Artificial Bee Colony), PSO (Optimización por enjambre de partículas, GA (algoritmos genéticos) y Expectativa de maximización. Y se evidencia claramente como el algoritmo FABC puede fácilmente diferenciar varias regiones de la imagen original en comparación a los otros algoritmos.

9.3.3 Sistema inmune artificial (AIS)

El sistema Inmune Artificial (AIS) es un sistema de inteligencia artificial con la capacidad de imitar la forma en que un cuerpo vivo adquiere inmunidad a las enfermedades y esto mediante principios de los sistemas inmunes; este tipo de técnicas permiten acelerar el desarrollo de nuevas medicinas, ya que los ensayos hechos en estos modelos anularían por completo los experimentos con animales además de que estos ensayos con los modelos computacionales pueden durar pocos minutos en un ordenador.

El funcionamiento básico de esta técnica es bastante sencillo ya que se comporta como un sistema inmunológico tiene dos actividades básicas, el reconocimiento y eliminación de estos patógenos o enfermedades esto quiere decir que la técnica debe entrar en un entorno donde Proporcione los métodos de reconocimiento de patrones, análisis de datos y aprendizaje automático adecuados. De esta forma los AIS tratan de emular ese comportamiento para la solución de problemas utilizando

el concepto de la producción de anticuerpos con base en información recopilada y guardada.⁵⁴

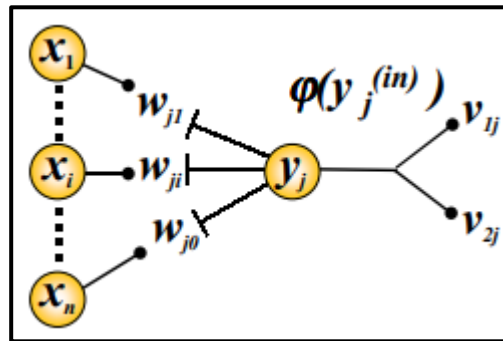
9.3.4 Redes neuronales artificiales

El cerebro de los seres vivos está compuesto por neuronas las cuales son las responsables de guardar, procesar y compartir una gran cantidad de información, por esto mismo las redes neuronales artificiales buscan imitar este comportamiento del cerebro para generar sistemas inteligentes creando estructuras donde de base sea complementos básicos.⁵⁵

Su funcionamiento consta en una idea sencilla, entregados unos parámetros hay una forma de combinarlos para predecir un cierto resultado, esto quiere decir que un conjunto de neuronas conectadas entre sí y que trabajan en conjunto, sin que haya una tarea concreta para cada neurona, generando experiencia poco a poco las neuronas van creando y reforzando ciertas conexiones para aprender algo específico.

En la figura 28, se evidencia el esquema de la neurona, donde se muestra la neurona de interés que es la y , las neuronas x , son las que envían señales de entrada y se pueden ver como valores numéricos, los valores w , representan los pesos sinápticos en las dendritas de y .

Figura 28. Esquema neuronal.



Fuente: Redes neuronales: Funciones en base radial (RBF)

⁵⁴ Hatata, A.Y. & Sedhom, B.E., 2017. Proposed Sandia frequency shift for anti-islanding detection method based on artificial immune system. Alexandria Engineering Journal.

⁵⁵ Mashaly, A.F. & Alazba, A.A., 2016. MLP and MLR models for instantaneous thermal efficiency prediction of solar still under hyper-arid environment. Computers and Electronics in Agriculture, 122, pp.146–155.

9.3.4.1 Red neuronal multicapa (MPL):

La red neuronal multicapa o MPL (MultiLayer Perceptron) es un tipo de alimentación directa de la red neuronal artificial, y esta consta de la unión de neuronas organizadas y distribuidas a lo largo de diferentes capas. Por lo menos consta de al menos tres capas de nodos:

- Capa de entrada
- Capa oculta
- Capa de salida

Cada nodo es una neurona que utiliza una función de activación no lineal, excepto los nodos de entrada, el MPL utiliza la retro propagación como técnica de aprendizaje supervisado para el entrenamiento. La gran ventaja de este tipo de redes es que sirven para reproducir los comportamientos de cualquier sistema usando entradas y salidas conocidas, con la gran facilidad de clasificar elementos o imitar el funcionamiento de una estructura.⁵⁶

9.3.4.2 Red neuronal convolucional (CNN):

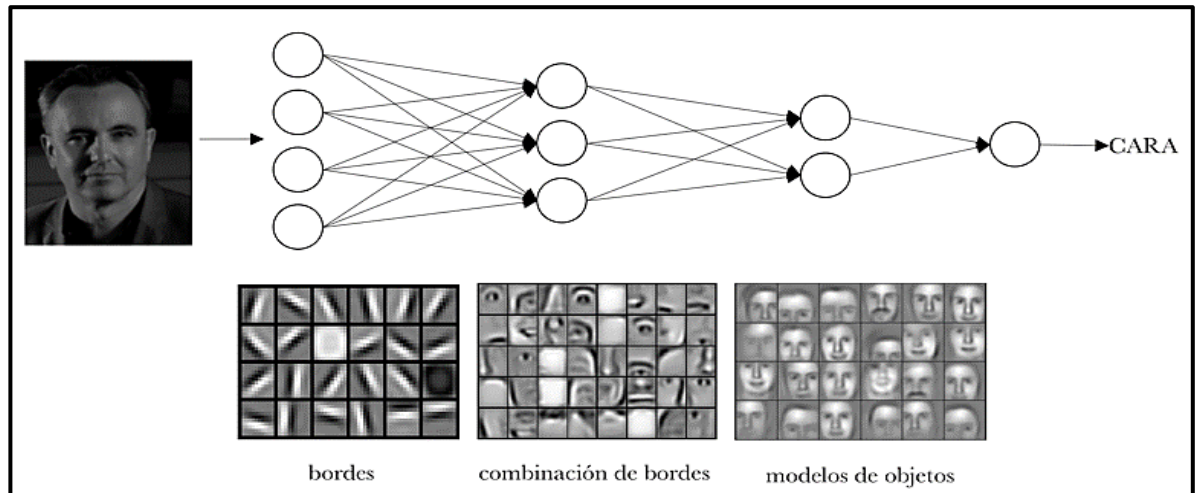
Este tipo de red neural funciona de una manera muy similar a las redes neuronales artificiales (ANN) solo que cada capa en CNN representa un filtro de dos o más dimensiones que están directamente relacionados con la entrada de la capa.⁵⁷ Es de vital importancia entender que el funcionamiento característico de este tipo de redes es el “ Fully Connected” lo cual indica que todas las neuronas están conectadas entre las capas antecesoras y las capas sucesoras, y a medida de que las capas intermedias avanzan la cantidad de características evaluadas se vuelve mucho más compleja; este comportamiento se puede evidenciar más claro en la figura 29.⁵⁸

⁵⁶ Islam, S. et al., 2014. Solid waste bin detection and classification using Dynamic Time Warping and MLP classifier. Waste Management, 34, pp.281–290.

⁵⁷ S. Khan, H. Rahmani, S. A. A. Shah, and M. Bennamoun, “A Guide to Convolutional Neural Networks for Computer Vision,” Synth. Lect. Comput. Vis., vol. 8, no. 1, pp. 185-187, 2018, doi: 10.2200/s00822ed1v01y201712cov015.

⁵⁸ D. Erroz Arroyo, “Visualizando neuronas en Redes Neuronales Convolucionales,” pp. 17–20, 2019, [En línea]. Disponible en: https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/33694/memoria_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

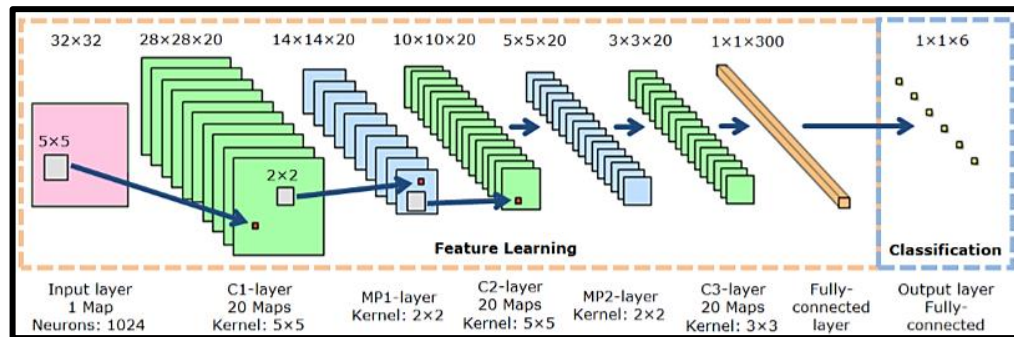
Figura 29. Esquema de CNN



Fuente: Artículo: Diseño de una GAN para el mejoramiento de la resolución de imágenes.

Dentro de esta técnica es también importante apreciar el uso de la técnica “POOLING” que se traduce como agrupación, ya que, en las redes neuronales convolucionales, generalmente después de cada capa o de algunas capas convolucionales hace uso de esta técnica como se puede observar en la figura 30, que permite realizar la agrupación y refinación de los resultados obtenidos de la convolución.⁵⁹

Figura 30. Arquitectura CNN con pooling alternado.



Fuente: Artículo: Max-pooling convolutional neural networks for vision-based hand gesture recognition.

Como resultado al aplicar el pooling se consigue que los elementos ingresados en un principio, no sufran bastantes cambios en su ubicación para que el resultado final

⁵⁹ Y. Ren, C. Zhu, and S. Xiao, “Object Detection Based on Fast/Faster RCNN Employing Fully Convolutional Architectures,” Math. Probl. Eng., vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/3598316.

de cada capa convolucional ilustre un mapa de entidades con características idénticas a la imagen de entrada.

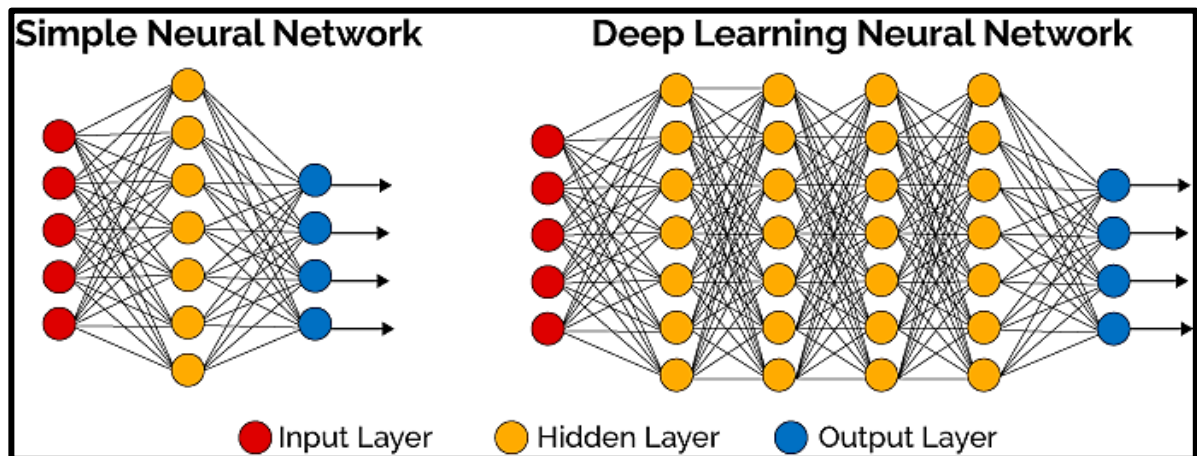
Una ventaja de este tipo de redes neuronales es que se han convertido en una de las más utilizadas en la actualidad especialmente en el área de tratamiento de datos de grandes dimensiones como imágenes o videos.

9.3.4.3 Red neuronal profunda (DNN):

Una red neuronal profunda (DNN) es un tipo de red neuronal artificial, con varias capas ocultas entre las capas de entrada y salida, su arquitectura es la principal razón por la que se usan modelos de aprendizaje profundo (Deep Learning).

En los últimos años este tipo de redes neuronales se ha vuelto muy famosa, porque posee una característica particular ya que arquitectura la hace fundamental a la hora de reconocer todo tipo de patrones. En el aprendizaje profundo, el número de capas ocultas, puede ser grande; alrededor de 1000 capas.⁶⁰ El procesamiento de imágenes es una de las áreas en la que estos modelos funcionan con tanto éxito; la clasificación, análisis, y extracción de características, son muy efectivas y se aplican en muchos desarrollos y aplicaciones en la actualidad, viendo muchos de estos en las redes sociales como, Instagram y Facebook o la hora tan popular Tik tok.⁶¹

Figura 31. ANN vs DNN



Fuente: The basic architecture of DNN. Disponible en: O'Reilly

⁶⁰ ZONAIA: Comunidad de servicios, aprendizaje y ayuda sobre chatbots [en línea]. Flickr. [Consultado: 05 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://zonaia.com/tutoriales-machine-learning/redes-neuronales-profundas/>

⁶¹ TEN TU LOGO: Qué es Deep Learning y cómo afecta a tus redes sociales [en línea]. Flickr. [Consultado: 05 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://tentulogo.com/que-es-deep-learning-y-como-afecta-a-tus-redes-sociales/>

9.4 ANÁLISIS DEL ALGORITMO

El análisis del algoritmo es una parte esencial del desarrollo de este proyecto por esta razón se vio la necesidad de recopilar la información acerca de los algoritmos que puedan generar imágenes lo cual es el principal objetivo de este proyecto, el algoritmo es debidamente la implementación del modelo computacional en forma matemática, por esta razón es esencial saber las propiedades de cada técnica y sus características. a continuación, se recopila información sobre las técnicas más utilizadas para la manipulación

9.4.1 Redes Generativas antagónicas – GANs

Las GANs (redes generativas antagónicas o adversarias), son un tipo de red neuronal profunda (DNN) que se componen de algoritmos de inteligencia artificial que utilizan el aprendizaje no supervisado y que comprende en su estructura dos redes enfrentadas entre sí, y esto da su nombre adversarias. Las Redes Generativas Antagónicas, fueron introducidas en el año 2014 por Ian J. Goodfellow y colaboradores en el artículo Generative Adversarial Nets⁶².

El potencial de las GAN es bastante, ya que está diseñada para trabajar en red para aprender a reconocer patrones entrenarlos e imitarlos sin importar la distribución de datos. Es tal su poder que se puede entrenar esta red para crear mundos paralelos rigurosamente similares sin importar la disciplina como la música, texto, el habla, inclusive imágenes. El funcionamiento de las GAN esencialmente consta de un algoritmo basado en dos redes neurales un Generador y Discriminador que compiten entre sí.⁶³

Red neuronal (Generador): es una de las redes encargada de producir muestras de aquello que queramos crear imágenes, textos, sonidos etc. aunque al principio al generar nuevas imágenes serán algo fallidas sin forma o coherencia, ya que la inteligencia artificial no es muy buena para crear cosas nuevas, es por esto se incluye el papel de la red discriminadora.

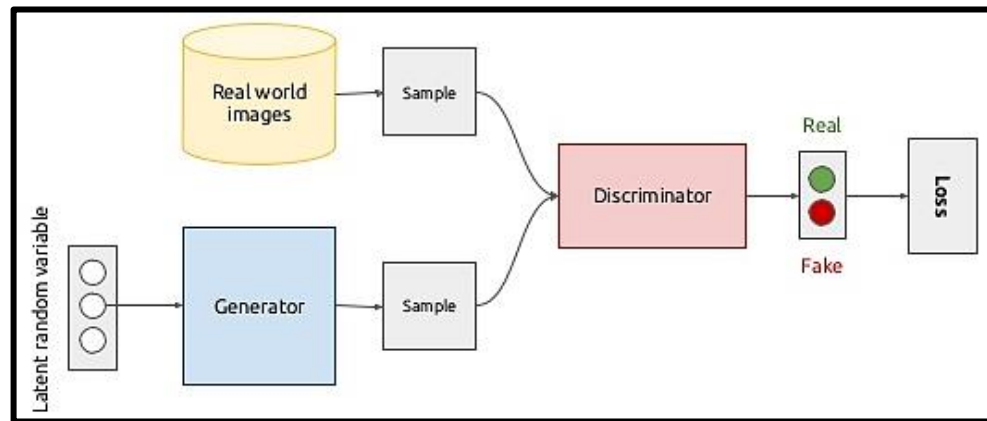
Red neuronal (Discriminadora): es la red encargada de la identificación y análisis del material producido por la red generativa, en sí la red discriminadora si se ajusta a lo que está buscando en este caso hace comparación de la instancia de datos del Generador y decide si pertenece o no al conjunto de datos de entrenamiento.

⁶² M. Mirza B. Xu D. Warde-Farley S. Ozair A. Courville I. J. Goodfellow, J. Pouget-Abadie and Y. Bengio. Generative adversarial nets. In Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS), abs/1406.2661, 2014.

⁶³ ADP: GANs o redes generativas antagónicas: ¿Qué son y cómo funcionan? [en línea]. Flickr. [Consultado: 05 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.apd.es/gans-o-redes-generativas-antagonicas-que-son/>

Con esto la GAN puede hacer miles y miles de pruebas o intentos antes de que la red Discriminadora acepte lo ofrecido por su rival y con cada iteración el discriminador aprenderá a buscar las formas que decidimos entrenar, y el generador deberá mejorar las características del patrón del conjunto de datos para engañar al discriminador. En pocas palabras en un proceso donde cada una de las redes va mejorando y aprende de su oponente cada vez que compiten.⁶⁴ En la figura 32 se evidencia el proceso de la GAN.

Figura 32. GAN



Fuente: Artículo: Understanding Deep learning — Generative Adversarial networks.

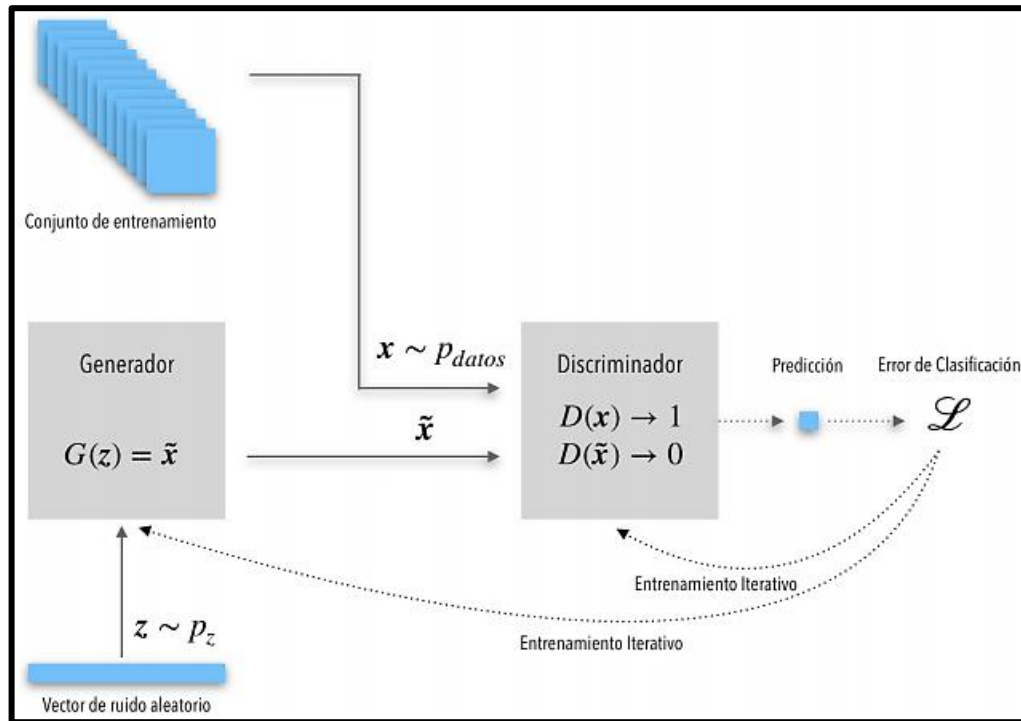
Ahora los pasos a continuación muestran el funcionamiento de la GAN

- La red del generador recibe información en forma de números aleatorios y devuelve una imagen.
- Esta imagen generada se proporciona como entrada a la red discriminadora junto con un flujo de imágenes tomadas del conjunto de datos real.
- El discriminador toma imágenes tanto reales como falsas y devuelve probabilidades, un número entre 0 y 1, donde 1 representa una predicción de autenticidad y 0 representa falsa.⁶⁵

⁶⁴ MERINO, Marcos. Conceptos de inteligencia artificial: qué son las GANs o redes generativas antagónicas [blog]. Blog Xataka. España 31 de marzo de 2019. [Consultado: 05 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.xataka.com/inteligencia-artificial/conceptos-inteligencia-artificial-que-gans-redes-generativas-antagonicas>.

⁶⁵ CÓDIGO FUENTE: Redes neuronales profundas – Tipos y Características [en línea]. Flickr. [Consultado: 05 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.codigofuente.org/redes-neuronales-profundas-tipos-caracteristicas/#:~:text=Tenemos%20una%20entrada%2C%20una%20salida,de%20capas%20con ectadas%20entre%20s%C3%AD.>

Figura 33. Entrenamiento de una red GAN



Fuente: Artículo: Redes Generativas Antagónicas y sus aplicaciones.

9.5 BASES DE DATOS PARA EL MODELO

Para el entrenamiento del modelo se utilizan varios métodos y técnicas, de la cuales ya se han hablado en el capítulos 9.3 y 9.4, pero también dentro del modelo existe un apartado donde se almacena los datos, a esto se le llama comúnmente bases de datos; estas bases contienen un gran número de imágenes a preferencia del usuario, sin embargo, algunas generan costo al descargarlas, otras no están disponibles por motivos de seguridad como las del gobierno y algunas son libres para descargar, además, se pueden utilizar de forma académica, cultural, seguridad, entre otras.

Para la presente investigación se dio a la tarea de investigar Data-sets que se usaran en proyectos de Machine Learning o aprendizaje de máquina, y que a su vez fueran adecuados para trabajar con Python que contienen PyTorch, el cual es un paquete de computación matemática diseñado para trabajar con tensores y está

centrado para su utilización en el desarrollo de redes neuronales.⁶⁶ Alguno de estos Data-sets son:

- CelebA
- CIFAR-10
- Mnist

Cada uno de los datasets tienen sus características vistas en el capítulo 6.2.6. Sin embargo, para este proyecto la base de datos fue construida a partir de imágenes de las pinturas realizadas por el pintor Fernando Botero; en total se escogieron 178 cuadros que son ideales para la realización del presente proyecto ya que estas contienen rostros visibles, que el algoritmo pueda detectar y así extraer sin problemas las características necesarias para el modelo que se utilizó.

Este data-set debe comprender unas características especiales para que pueda ser procesado, estas son: la resolución de las imágenes, el modelo de colores que utilizan y el formato grafico que tienen. Todas las imágenes deben tener las mismas características para que el modelo pueda entrenar sin ningún contra tiempo. De igual forma depende mucho si la técnica puede o no trabajar con ciertos parámetros de la imagen.

Es por esto que se decidió escoger los parámetros de las imágenes para tener una idea clara de cual técnica y algoritmo utilizar.

Resolución: Para este parámetro se decidió optar por imágenes con resolución 64X64 y esto a razón de que en los cuadros de Fernando Botero, ilustran en su mayoría familias y retratos de personajes y lo que el algoritmo busca en su entramiento son los rostros en estos cuadros, por lo tanto si se escoge una resolución bastante alta las imágenes de los rostros se van a ver bastante granuladas (pixeladas), mientras que si se escoge una menor resolución la imagen por el tamaño se ven más nítidas por lo tanto el algoritmo las va a detectar como rostros.

Modelo del color: como se mencionó en el apartado 6.2.4 existen modelos RGB, RGBa y CMYK. Para escoger correctamente el modelo solo depende únicamente de las características específicas del algoritmo a utilizar, por esta razón, se dio a la tarea de recopilar las imágenes con fin de avanzar en el proyecto y con unas bibliotecas en Python como “PIL IMAGE” y “OpenCV” las cuales son módulos que proporcionan distintas funciones con características de creación y manipulación de fabrica imágenes, donde una de estas funciones es cambiar el modelo del color de

⁶⁶ VIECO, Jesús. Tutorial: Introducción a PyTorch (II), primera red neuronal [blog]. Blog Cleverpy. México 26 de feberero de 2019. [Consultado: 05 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://cleverpy.com/primer-red-neuronal-con-pytorch/>

las imágenes cargadas;⁶⁷ con esto poder garantizar que el uso de cualquier imagen y cambiar sus características sin contraindicaciones del algoritmo.

Formato gráfico: Los formatos gráficos más conocidos ya fueron documentados en la sección 6.2.5 y dentro de las imágenes tomadas de los cuadros de Fernando botero alrededor de un 90% estaban en formato PNG, este formato al tener buena resolución y mantener características nítidas sin importar si se comprime la imagen hacen que este formato fuera el escogido.

⁶⁷ Clark, Alex. 2020. "Pillow (PIL Fork) Documentation," 149.

10.IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO

Conforme a lo metodología previamente escrita, en este apartado se describen los procedimientos actividades fueron destinadas a la selección e implementación de las técnicas de análisis y manipulación de imagen con el fin de cumplir con las necesidades del objetivo principal del proyecto.

Para lograr esta actividad se segmento en tres pasos de pasos:

- La comparación y análisis de las técnicas recopiladas.
- La selección de las técnicas que se utilizaron para el desarrollo del presente proyecto
- La ejecución e implementación de las técnicas.

10.1 COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS RECOPIADAS

En este capítulo se compararon varias técnicas recopiladas en el apartado 9.3 las cuales tienen como fin el procesamiento de imágenes y cómo funcionan respecto a su precisión utilizando bases de datos disponibles en el mercado.

En la figura 34 se aplican un conjunto difuso a bases de datos que contienen poros con el fin de clasificar cada resultado, con el objetivo de determinar con mayor precisión el tipo de Poro, los resultados se muestran en la figura inferior, añadiendo la mejoría del porcentaje utilizando el conjunto difuso en comparación al promedio de los métodos.

Figura 34. Comparación del mejoramiento de la clasificación con el conjunto difuso.

| Tipos de poros | Detalles (% del resultado) | | |
|-----------------------|----------------------------|----------------|--------------|
| | Promedio | Sistema difuso | Mejoramiento |
| <i>Inter particle</i> | 86.7 | 93.6 | +6.6 |
| <i>Intra particle</i> | 88.9 | 95.2 | +6.3 |
| <i>Oomoldic</i> | 100 | 100 | 0 |
| <i>Biomoldic</i> | 100 | 100 | 0 |
| <i>Vuggy</i> | 86.7 | 96.1 | +9.4 |

Fuente: Técnicas de inteligencia artificial utilizadas en el procesamiento de imágenes y su aplicación en el análisis de pavimentos

En la figura 35 se realiza la comparación de CNN con otros trabajos donde se manejan 2 indicadores (sensibilidad y la especificad). La sensibilidad es la que

representa el porcentaje de píxeles identificados correctamente y la especificidad corresponde al porcentaje de píxeles que no fueron asignados a un grupo incorrecto⁶⁸.

Figura 35. comparación de resultados.

| Trabajos | Año | Vasos vasculares | | Fóvea | | Disco óptico | |
|---------------|------|------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | | Sensibilidad | Especificidad | Sensibilidad | Especificidad | Sensibilidad | Especificidad |
| CNN | 2017 | 0.7537 | 0.9694 | 0.8853 | 0.9914 | 0.8790 | 0.9927 |
| 2nd observer | 2017 | 0.7796 | 0.9717 | – | – | – | – |
| Zhu et al. | 2016 | 0.7140 | 0.9868 | – | – | – | – |
| Wang et al. | 2014 | 0.8104 | 0.9791 | – | – | – | – |
| Welfer et al. | 2013 | – | – | – | – | 0.8354 | 0.9981 |
| Stapor et al. | 2004 | – | – | – | – | 0.7368 | 0.9920 |
| Kande et al. | 2008 | – | – | – | – | 0.6999 | 0.9888 |

Fuente: Segmentation of optic disc, fovea and retinal vasculature using a single convolutional neural network

En la Figura 36 la colonia de abejas (BA) crea un vecindario y las abejas empiezan a moverse buscando la mejor solución al patrón dado, en donde se resuelva un problema de minimización. Los resultados de la comparación con filtros combinados y con el clasificador difuso se muestran en la figura 36.⁶⁹

Figura 36. comparación de resultados.

| Clasificador | Filtros | % de identificación con UMIST (base de datos libre de fotos) | |
|--------------|----------------|--|-------------|
| | | Mejor | Promedio |
| FSVM | Gabor Mag +LDA | 96.11 | 95.18 |
| BPSO | Gabor Mag +LDA | 97.22 | 95 |
| BA | Gabor Mag +LDA | 97.22 | 96.3 |
| FSVM | LDA | 94.44 | 92.22 |
| BPSO | LDA | 95.55 | 94.81 |
| BA | LDA | 96.67 | 94.26 |

Fuente: Swarm intelligence inspired classifiers for facial recognition.

⁶⁸ Tan, J.H. et al., 2017. Segmentation of optic disc, fovea and retinal vasculature using a single convolutional neural network. *Journal of Computational Science*.

⁶⁹ Nebti, S. & Boukerram, A., 2017. Swarm intelligence inspired classifiers for facial recognition. *Swarm and Evolutionary Computation*, 32, pp.150-166. [Links]

La comparación anterior permite presentar un comparativo ilustrado en la figura 37 de las diferentes técnicas de inteligencia artificial, donde se distinguen las ventajas y desventajas más importantes.

Figura 37. comparación de las técnicas de inteligencia artificial.

| Técnica IA | Ventajas | Desventajas |
|---|--|--|
| <p>Sistemas difusos</p> <p>(Abdullah & Abdolrazzaghezhad 2014)(Lim et al., 2015)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Su implementación al manejar un esquema de lenguaje natural que simula el del ser humano y la estandarización de los modelos difusos permite que se pueda aplicar de una forma práctica y sencilla. • Suavidad en la clasificación de sistemas con grandes variaciones como las imágenes, donde no se tener una frontera definida por clase. | <ul style="list-style-type: none"> • Dificultad de la definición del problema de forma precisa por medio de etiquetas y su porcentaje de pertenencia, generalmente estas definiciones las realizan personas desde su punto de vista lo que crea un margen subjetivo. • Por su funcionamiento no es aconsejable para sistemas de alta precisión, debido a que el resultado depende de un valor de pertenencia de funciones parametrizadas bajo un sistema lingüístico y no numérico |
| <p>Red neuronal MLP</p> <p>(Cristea et al. 2016)(Jani et al., 2017)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Aprendizaje rápido con gran porcentaje de acierto • Capacidad de procesamiento en paralelo lo que lo convierte en un sistema muy útil en sistemas de respuesta rápida • La implementación de una red neuronal MLP es simple en comparación con otras técnicas IA o incluso otros tipos de redes neuronales | <ul style="list-style-type: none"> • Necesitan un reentrenamiento periódico para no perder precisión, ante cambios normales que un sistema presenta en el tiempo • Entre más grande el rango dinámico de trabajo más datos representativos son necesarios para definir las diferentes pendientes de separación. |
| <p>Red neuronal convolucional</p> <p>(Galdámez et al., 2017)(Cao et al., 2017)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Red especializada en el trabajo con imágenes por su funcionamiento en 2D que permite la extracción de características globales de la foto por medio de las diferentes matrices de filtros. • Robustez de la identificación ante variaciones en las imágenes por la implementación de algoritmos de Deep Learning que permite a la red aprender múltiples niveles de representación. | <ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de entrenamiento largos • La calidad de la identificación depende de la extensión de la base de imágenes que se use para entrenamiento • Sistema de alto costo computacional por su trabajo con matrices y convoluciones entre ellas. |
| <p>Inteligencia de enjambre</p> <p>(Colonia de abejas)</p> <p>(Cui et al. 2017) (Banitalebi et al., 2015)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Convergencia rápida a la solución de los sistemas con gran flexibilidad • Este tipo de técnica utiliza pocos parámetros de configuración en comparación con las otras técnicas mencionadas. | <ul style="list-style-type: none"> • En ocasiones existen soluciones mejores en la solución local a la cual el algoritmo converge, lo que hace necesario un algoritmo externo de búsqueda global dentro de esa región para encontrar la mejor solución. • Presenta en situaciones convergencia prematura a una solución, esto se debe una mala configuración de la estructura de búsqueda que sesga el mejor resultado. |
| <p>Sistema inmune artificial</p> <p>(Bayar et al., 2015)(Costa et al., 2017)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Alta capacidad de exploración de soluciones, para una mejor optimización de tareas • Posee un autoaprendizaje estructurado, profundo y simple en comparación con otras técnicas de IA las cuales no tienen la capacidad de aprender de forma autónoma. | <ul style="list-style-type: none"> • Requiere un alto nivel de desarrollo en su programación inicial para estructurar sus capas y funcionamiento • Su mayor fortaleza la saca de procesos de aleatoriedad que en principio le resta propiedades de robustez a su implementación. |

Fuente: Artículo: Técnicas de Inteligencia Artificial Utilizadas En El Procesamiento de Imágenes y Su Aplicación En El Análisis de Pavimentos

Las técnicas de Inteligencia artificial para la manipulación de imágenes mencionadas anteriormente tienen ventajas muy específicas en los procesos solicitados como: Velocidad de respuesta, recursividad, optimización, la flexibilidad y el costo computacional. Cada técnica de (IA) se enfoca en métodos de trabajos diferentes y esto significa cada técnica puede ayudar en la solución de diversos problemas propuestos, Sin embargo, como tienen grandes ventajas también poseen desventajas en la implementación de un proyecto, por esta razón se busca la flexibilidad en cada técnica ya que con la integración de diferentes técnicas haciéndolas híbridas pueden mejorar bastante para disminuir las dificultades que presentan si se utilizaran solos.

10.2. ELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS Y MANIPULACIÓN DE IMAGEN

La elección de la técnica y el algoritmo es esencial para que el desarrollo del objetivo sea completado. Ahora la técnica de inteligencia artificial para la manipulación y de imágenes que se ha escogido son las redes neuronales (ANN) debido a su gran eficiencia a la hora de procesar imágenes y extracción de características, además, de su baja tasa de error. Por esta razón se indaga un poco más sobre el funcionamiento o cualidad que tiene esta técnica ya que esta tiene varias variantes las cuales pueden mejorar considerablemente el rendimiento y mejorar en gran medida la eficacia del algoritmo.

Como se vio anterior mente hay varios tipos y combinaciones de redes neuronales es por esto que se tiene que decidir basándose en la función específica del proyecto, por un lado, esta si se está construyendo un tipo de clasificador o si por el contrario la red estará en funcionamiento de encontrar patrones en las imágenes y por último si va hacer un aprendizaje no supervisado con el fin de extraer patrones de imágenes de un conjunto de datos que no fueron etiquetados. Para ello se consideraron las siguientes redes neuronales a elegir.

- Para el procesamiento de texto, el análisis de sentimientos, el análisis y el reconocimiento de la entidad de nombre, utilizamos una red recurrente o red de tensor neuronal recursivo o RNTN;
- Para cualquier modelo de lenguaje que funcione a nivel de carácter, usamos la red neuronal recurrente.
- Para el reconocimiento de imágenes, utilizamos la red de creencias profundas DBN o red convolucional.
- Para el reconocimiento de objetos, utilizamos una RNTN o una red convolucional.
- Para el reconocimiento de voz, utilizamos red recurrente.
- En general, las redes de creencias profundas y los perceptrones multicapa con unidades lineales rectificadas o RELU son buenas opciones para la clasificación.

En este caso las redes que más se asemejan a las características planteadas para el proyecto fueron las redes neuronales convolucionales y las redes de creencia profundas.

Ya con la técnica escogida se pasó a revisar los requerimientos del algoritmo ya que estos comprenden desde la detección del rostro hasta la extracción, comparación y clasificación de la base de datos de las pinturas de Fernando Botero. Por lo tanto, este análisis se hizo desde enfoques diferentes, debido a que se tiene que identificar las características ideales y no ideales del comportamiento del algoritmo en entornos controlados y no controlados.

Para esto, se hizo una lista de requerimientos esenciales del algoritmo:

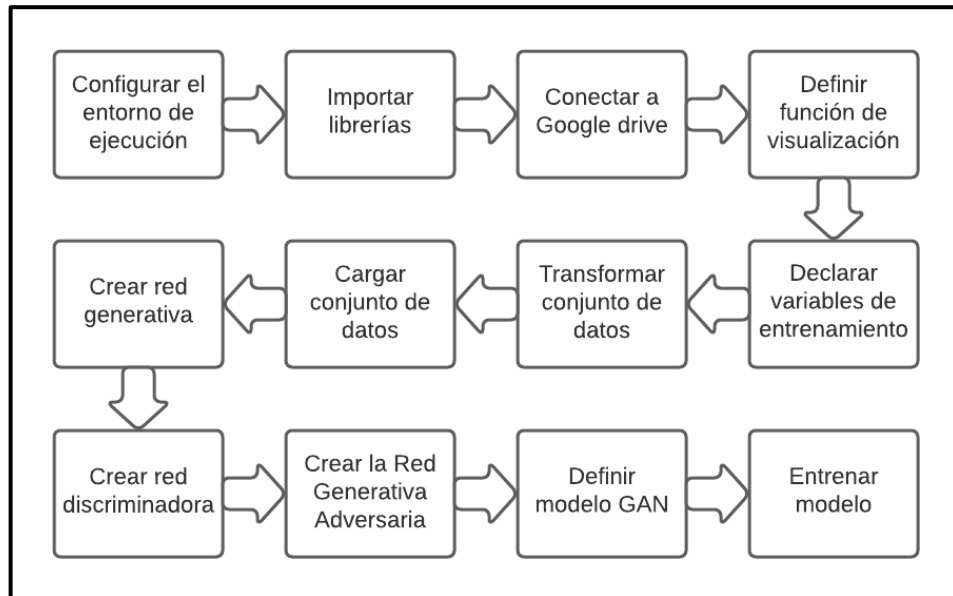
- Capacidad de detectar un rostro
- Influencia en la variación de aspectos de la cara.
- Eficiencia computacional con respecto a los recursos que utiliza el algoritmo.
- Tiempo de ejecución y respuesta.
- Capacidad para generar imágenes

Con estos requerimientos y con lo investigado en el capítulo 9.4 el algoritmo ideal para la implementación del presente proyecto es la red generativa adversaria (GAN) ya que cuentan con gran capacidad de generar imágenes utilizando la combinación de las redes neuronales convolucionales y las redes neuronales profundas haciendo así el modelo más eficiente de lo previsto.

10.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA SELECCIONADA EN EL ALGORITMO

En la figura 38, se evidencian las etapas que recorre el algoritmo para poder cumplir el objetivo de generar imágenes de objetos o seres vivos por medio del movimiento artístico de Fernando Botero usando inteligencia artificial. De esta forma, se permite una mejor implementación del algoritmo y mayor entendimiento del mismo.

Figura 38. Diagrama de bloques del algoritmo.



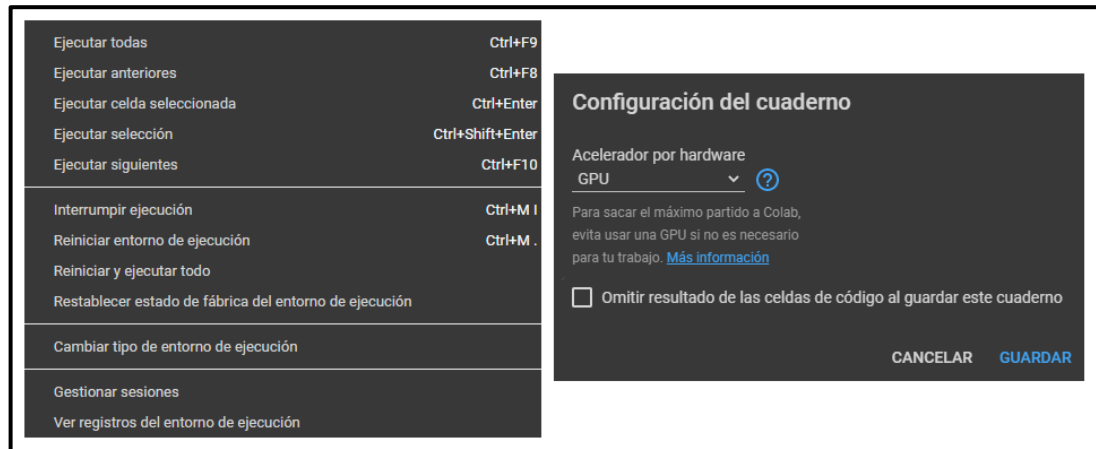
Fuente: Autores.

10.3.1 Configurar el entorno de ejecución

Para la preparación y la configuración de entorno, se trabaja sobre Google Colab, este es un servicio freemium de Google para ejecutar y programar en Python, con acceso gratuito a GPUs, entre otras características⁷⁰. Para configurar el entorno de ejecución se da clic en la sección de “Entorno de ejecución” del encabezado de la página, luego se escoge la opción “cambiar tipo de entorno de ejecución” y en el apartado de “Acelerador por hardware” se despliega y se escoge la opción GPU. Luego se oprime en guardar, de esta forma queda configurado el entorno de ejecución sobre el cual se va a trabajar, en la figura 39 se logra observar la configuración.

⁷⁰ Tutorialspoint. 2019. “About the Tutorial Copyright & Disclaimer.” Tutorial Point (I) Pvt. Ltd., 1–13.

Figura 39. Configuración de entorno en Google Colab.



Fuente: Autores.

10.3.2 Importar librerías

En la figura 40, se observan las 13 librerías que fueron utilizadas para poder implementar el algoritmo del proyecto.

Figura 40. Librerías de Python.

```
import torch
from torch import nn
from torch.utils.data import DataLoader, Dataset
from torchvision import datasets, transforms
from torchvision.utils import make_grid
from torch.optim import Adam
from tqdm.notebook import tqdm
from glob import glob
import matplotlib.pyplot as plt
import pytorch_lightning as pl
from PIL import Image
import matplotlib.image as img
from google.colab import drive
```

Fuente: Autores.

1. La primera librería que se observa en la figura anterior es “import torch” la cual se utiliza para realizar cálculos numéricos usando programación de tensores, también permite la ejecución en GPU logrando acelerar los cálculos a realizar.
2. La segunda librería “from torch import nn” proporciona el módulo para crear y entrenar redes neuronales de una manera más eficiente.

3. `"from torch.utils.data import DataLoader, Dataset"` esta librería funciona para cargar conjuntos de datos.
4. `"from torchvision import datasets, transforms"` la cuarta librería sirve para cargar conjuntos de datos y poder utilizar las funciones de transformación de imágenes.
5. `"from torchvision.utils import make_grid"` interactúa con la librería `"import matplotlib.image as img"` y `"import matplotlib.pyplot as plt"` para producir una cuadrícula de imágenes como salida de impresión del algoritmo.
6. `"from torch.optim import Adam"` esta sexta librería implementa varios algoritmos de optimización, de esta forma trabaja en conjunto con el algoritmo a desarrollar.
7. `"from tqdm.notebook import tqdm"` en cuanto a esta librería se utiliza para poder evidenciar el progreso de un script.
8. `"from glob import glob"` se utiliza para buscar todos los nombres que coinciden en un directorio, es útil para realizar procesos dentro de un sistema.
9. `"import pytorch_lightning as pl"` lo que hace es organizar el código, mantiene una mejor flexibilidad para todo el código y automatiza el ciclo de entrenamiento de la red neuronal.
10. `"from PIL import Image"` funciona para realizar ediciones en imágenes, como recortarlas, redimensionarlas, entre otras.
11. `"from google.colab import drive"` esta última librería se utiliza para la conexión de Google Colab con Google drive por medio de Python.

10.3.3 Conectar a Google Drive

Para realizar la conexión de Google Colab a Google drive por medio de Python es necesario de un token o de una clave para poder acceder y verificar la autenticidad del usuario, esto se realiza ingresando a la cuenta de correo electrónico de Google por medio del enlace que arroja el script una vez ejecutado. Dentro de esta misma etapa se verifica la conexión a Google drive mostrando una imagen que esté dentro de la carpeta a la cual se conectó, de esta forma se confirma que el script está funcionando correctamente. La conexión se realizó por medio de la cuenta personal de los autores, ya que la cuenta de correo de la Universidad Católica de Colombia, deniega el acceso por falta de permisos y violación a las políticas de la institución.

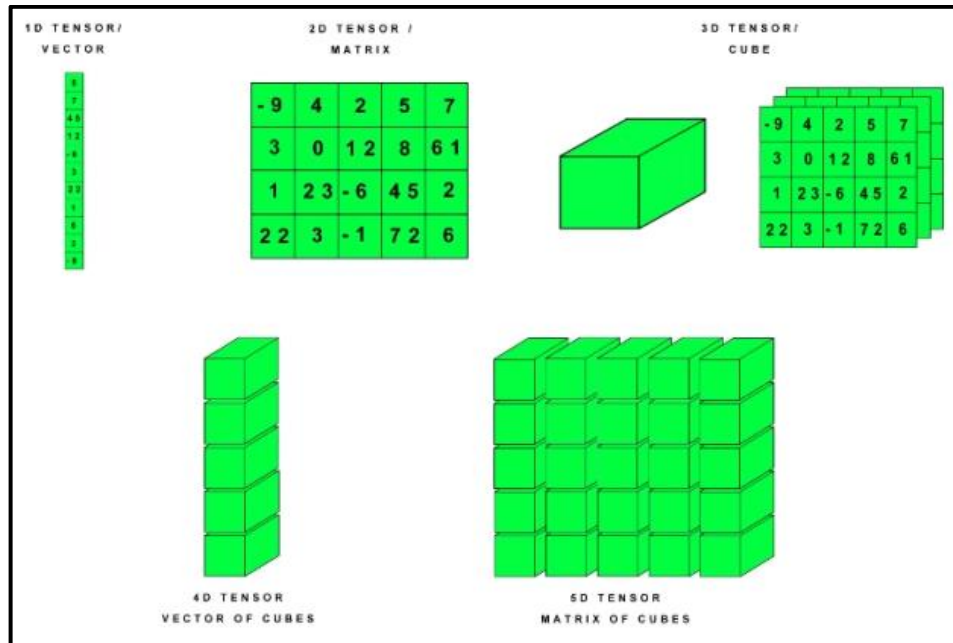
10.3.4 Definir función de visualización

En esta etapa, se define la función de visualización, donde como parámetro dentro de esta función, se define un tensor⁷¹ de imágenes, estos son objetos matemáticos que almacenan valores numéricos y pueden tener distintas dimensiones como se

⁷¹ Ji, Yuwang, Qiang Wang, Xuan Li, and Jie Liu. 2019. "A Survey on Tensor Techniques and Applications in Machine Learning." IEEE Access 7: 162950–90. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2949814>.

evidencia en la figura 41. En la misma función, también se declara la variable para poder imprimir la cuadrícula de imágenes que se evidencia en la salida del algoritmo, este valor es de 25 cuadros a mostrar, así mismo se define la dimensión de cada figura que se muestra en la cuadrícula de 5x5, la altura y anchura de cada imagen es de 64x64 pixeles con un formato RGB, de esta forma se imprime cada época o epoch en inglés, en el momento que empieza el entrenamiento del algoritmo.

Figura 41. Representación gráfica de tensores.



Fuente: Blog Deep Learning para todos los públicos: ¿Qué son los tensores? ¿Qué es TensorFlow?

10.3.5 Declarar variables de entrenamiento

Al momento de declarar las variables de entrenamiento, se tuvo en cuenta las características que ciertos artículos científicos se leyeron, sin embargo, el artículo del cuarto congreso internacional de representaciones de aprendizaje⁷², declara variables de entrenamiento para el conjunto de datos de rostros humanos, por esta razón se tuvo en cuenta estas características ya que el entrenamiento del algoritmo que se realizó en este proyecto se basa en características humanas.

⁷² Radford, Alec, Luke Metz, and Soumith Chintala. 2016. "Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks." 4th International Conference on Learning Representations, ICLR 2016 - Conference Track Proceedings, 1–16.

10.3.6 Transformar conjunto de datos

Al momento de conectarse a la carpeta que contiene el conjunto de datos a tratar por medio de Google drive, donde contiene las imágenes para poder realizar el entrenamiento y el entendimiento por parte del algoritmo. Cada imagen que esta carpeta contiene se debe transformar, la nueva dimensión que toma 64x64, esto se hace para verificar que al momento donde las imágenes entren a la función de transformación, esta las dimensiona a 64x64, independientemente que la imagen entre en cierta dimensión a la función. También se normaliza las imágenes en un valor de 0.5 con el fin de no provocar distorsión en las dimensiones de la imagen o imágenes. Todo este proceso se realiza por medio de la librería “from PIL import Image”.

10.3.7 Cargar conjunto de datos

En esta etapa del algoritmo, lo que se realiza es la carga del conjunto de datos o también llamado dataset (en inglés) al algoritmo. En un principio se descargaron de internet 178 cuadros para poder obtener solamente los rostros de cada uno, por cada imagen descargada se reconocieron en promedio 3 rostros como se observa en la figura 42, por lo que se obtuvo 534 rostros en total. Una vez separadas las imágenes como retratos en una sola carpeta se proceden a multiplicar cada imagen 42 veces aproximadamente para poder completar una muestra de 22205 rostros de Botero, esto con el fin de que el algoritmo entrene correctamente y muestre mejores resultados, a mayores muestras mejores los resultados al momento de entrenar la Red Generativa Antagónica (GAN).

Figura 42. Reconocimiento de rostros por cuadro de Botero.

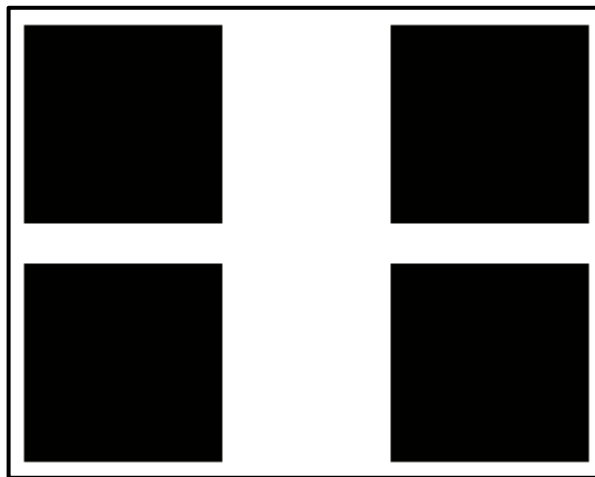


Fuente: Autores.

10.3.8 Crear red generativa

Esta red neuronal es la que genera imágenes, en un principio, generará ruido, ya que para esto se programa, de esta forma y posteriormente entrenándola poco a poco aprenderá a generar imágenes reales por medio del ruido. Para esta fase del algoritmo, se crea una función para la generación de ruido, ya que para la red generativa el punto de partida o su punto de inicio es un vector de ruido, este se transforma y se va agrandando hasta generar una imagen de las mismas dimensiones que las imágenes del conjunto de datos que se cargó anteriormente al algoritmo (64,64,3). El objetivo de esta red generativa al generar ruido es realizar convoluciones hasta generar imágenes, al principio generará cuadros llenos de ruido como se evidencia en la figura 43, y el porcentaje de error será bastante alto, pero a medida que se vaya entrenando esta red irán mejorando las imágenes de salida, serán más realistas y por lo tanto el porcentaje de error será menor.⁷³

Figura 43. Ruido de la red generativa.



Fuente: Artículo: Cómo crear una Red Generativa Antagónica (GAN) en Python.

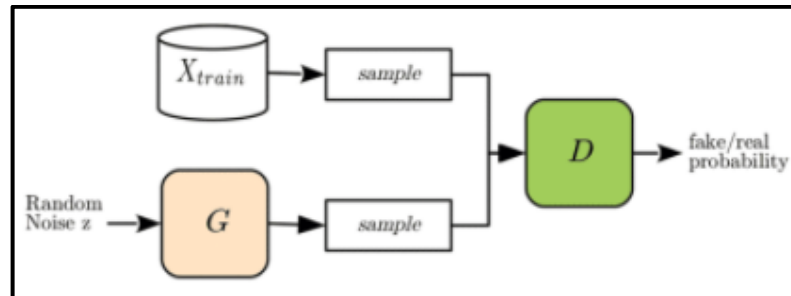
10.3.9 Crear red discriminadora

En esta etapa, la red discriminadora que también se puede ver como una red convolucional normal, es la que clasifica la imagen de entrada si es real o no, de esta forma la red generadora se puede entrenar por medio de esta red, así trabajando en conjunto. Esta red, toma como entrada una imagen y retorna un único valor de esta misma, permitiendo hacer la comparación entre las imágenes de ruido generadas por la red generativa y las imágenes reales de la red discriminadora, de esta forma los resultados de la red neuronal discriminativa son usados por la red

⁷³ FERNÁNDEZ JAUREGUI, Ander. Cómo crear una Red Generativa Antagónica (GAN) en Python [blog]. Blog Data Science. España. 16 de Julio de 2020. [Consultado: 14 de abril de 2021]. Disponible en: <https://anderfernandez.com/blog/como-crear-una-red-generativa-antagonica-gan-en-python/>

neuronal generadora para ajustar sus parámetros. Como se observa en la figura 44, en la entrada se tiene el ruido que genera la función que se nombró en el capítulo anterior, pasando por la red generadora y así generando muestras para llevar hacia la red discriminadora, al mismo tiempo cierto entrenamiento arroja muestras hacia la red discriminativa. Finalmente, la red hace su trabajo, discrimina qué muestras son reales o no.

Figura 44. Resultados de la red discriminativa.



Fuente: Artículo: Cómo crear una Red Generativa Antagónica (GAN) en Python.

10.3.10 Crear la red generativa adversaria (GAN)

En esta etapa, ya teniendo la red generadora definida y entrenada y la red discriminadora realizando su entrenamiento y su funcionamiento. Donde se tiene el clasificador de imágenes ya entrenado que define si una imagen es real o falsa y también se tiene el generador de imágenes, teniendo en cuenta que en esta fase la red generadora no debe ser entrenada. Se debe juntar estas dos redes neuronales o fases del algoritmo de tal manera que los datos que se le brindan de entrada por medio del modelo devuelvan o retorne la probabilidad de ser real y que la red generativa se vaya entrenando. Para evitar que la red neuronal se vaya entrenando, se fija el parámetro “FALSE” en la función de entrenamiento.

10.3.11 Definir modelo GAN

El modelo que se define es por medio de la red generativa adversaria como función, y como parámetros se definen la tasa de aprendizaje y las dimensiones para poder realizar el entrenamiento de la GAN.

10.3.12 Entrenar modelo

Finalmente se utiliza la función de la librería de “pytorch” llamada “trainer” para poder realizar el entrenamiento con el modelo definido y con el conjunto de datos previamente definidos en las etapas anteriores. Con este entrenamiento se logra visualizar las 20 épocas o epoch’s en inglés por las que pasa el algoritmo, hasta llegar al resultado esperado, como se evidencia en la figura 45.

Figura 45. Resultados de entrenamiento de la GAN



Fuente: Autores.

11. REALIZAR PRUEBAS DEL ALGORITMO Y SU FUNCIONAMIENTO

11.1. PRUEBAS COMPILACIÓN Y FUNCIONAMIENTO

En el capítulo anterior se logró explicar las 12 etapas de desarrollo del algoritmo. Teniendo esto en cuenta, se hablará de la última fase del algoritmo la cual se basa en el entrenamiento del modelo y en los resultados, esto para poder verlos detalladamente.

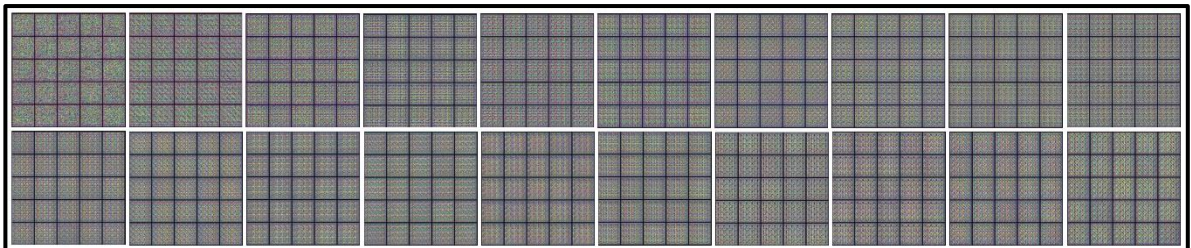
Las pruebas presentadas a continuación fueron realizadas en orden cronológico y muestran un avance incremental con cada ejecución.

11.1.1 Prueba I.

En la primera prueba se procedió a realizar el dataset o conjunto de datos de los cuadros de Botero, donde se logró obtener 756 fotos, entre estas; cuadros completos, recorte de rostros, cuadros con objetos, cuadros con animales, cuadros con personas y animales, entre otros. Al momento de tener el conjunto de datos ya definido, se procedió a la carga de las imágenes en el algoritmo, sin embargo, este generó un error. El error se basaba en el formato de las imágenes, es decir que algunos cuadros estaban en formato RGBA y otros estaban en RGB, por lo que se procedió a crear un algoritmo para estandarizar todas las imágenes, dejando todos los cuadros con un formato RGB.

Estas muestras se cargaron al algoritmo para a continuación entrenarlo, se obtuvo que en esta etapa con la cantidad de fotos ya nombrada, el algoritmo se demoró 4 minutos y 58 segundos para poder realizar el entrenamiento, este tiempo es bastante bajo para poder obtener salidas correctas o esperadas. Sin embargo, los resultados que se obtuvieron fueron inesperados ya que se necesitaba de muchas más muestras para poder tener un buen resultado, por otro lado, se logró evidenciar que en las 19 épocas se obtuvo solamente ruido porque no eran suficientes las muestras cargadas al algoritmo. En la figura 46, se logra evidenciar los resultados obtenidos del entrenamiento de las 20 épocas.

Figura 46. Resultados prueba I.



Fuente: Autores.

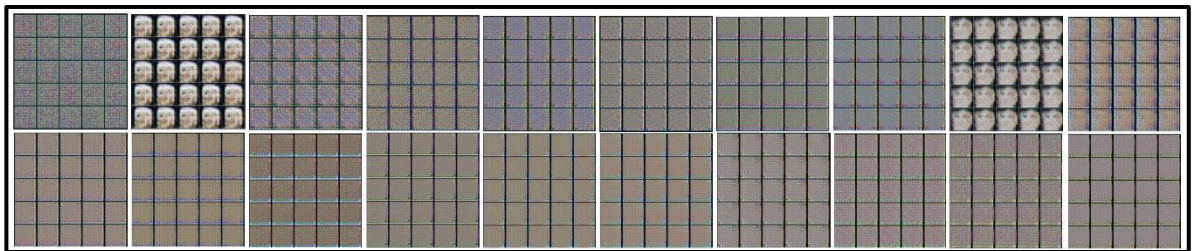
Como se observa en la anterior figura, los resultados al realizar el entrenamiento del algoritmo no son los esperados y tampoco los adecuados, se generó solamente ruido, esto es porque al momento que las imágenes se cargaron a la etapa de crear la red neuronal discriminadora, ésta tiene muy pocas muestras para poder realizar la comparación y la discriminación entre las imágenes que genera la red neuronal generadora y las imágenes que se cargaron previamente. También se puede observar que las imágenes que se cargan al algoritmo no son simétricas, es decir: las imágenes tienen todo tipo de sujetos, hombres, mujeres, perros, caballos, gatos, personas con armaduras, muertos, entre otros, por esta razón el entrenamiento del algoritmo arroja este resultado. Igualmente se evidencia que el conjunto de datos es muy pequeño ya que se utilizan 756 imágenes, es por esto que es necesario de más muestras para que la red discriminadora compare muchas más imágenes.

11.1.2 Prueba II.

Los resultados de la prueba anterior fueron deficientes y poco precisos, esto es por la combinación de imágenes que tenía el conjunto de datos que se ingresaron al algoritmo para poder realizar el entrenamiento, esto se explicó en la capítulo anterior.

Teniendo en cuenta estos resultados se procede a hacer un cambio en las imágenes, para esto se realiza un algoritmo para que cada imagen que se utiliza, reconozca solamente el rostro de las personas, estos rostros se guardan en otra carpeta para poder realizar el entrenamiento del algoritmo. Como se evidenció que el conjunto de datos era bastante pequeño, se procedió a realizar la multiplicación de las imágenes hasta obtener 58328 rostros, esto con el fin de saber qué resultados iba a arrojar el algoritmo, en la figura 47, se logra observar los resultados de cada época en el entrenamiento.

Figura 47. Resultados prueba II.



Fuente: Autores.

Figura 48. Épocas 2 y 9 del entrenamiento.



Fuente: Autores.

Los resultados que se observan en la figura 47, son un poco mejor y específicos a comparación de los resultados en la prueba I. Esto se debe a la cantidad de muestras que se ingresaron al algoritmo, se evidencia que en la época 2 y 9 de la figura 48 respectivamente, el algoritmo trata de realizar cuadros de Botero, pero el algoritmo se pierde por la cantidad de muestras, la explicación lógica para esto, es porque la red neuronal generadora no crea las suficientes muestras o imágenes de ruido para que la red discriminadora compare entre las reales y falsas⁷⁴, de esta forma no puede decidir cuáles son las verdaderas imágenes para que al momento de entrenar el algoritmo las tome como muestras y ejemplos.

Por lo anterior, se logra ver que no se logró el resultado esperado, el de poder evidenciar retratos del movimiento artístico de Botero, sin embargo, se acerca más al objetivo del proyecto.

11.1.3 Prueba III.

Teniendo en cuenta las pruebas que previamente se realizaron, se precede a disminuir las muestras del conjunto de datos, dejándolo finalmente en 22205 imágenes, esto con el fin de saber si en realidad era necesario disminuir el dataset o si se tenía que aumentar los rostros del conjunto de datos.

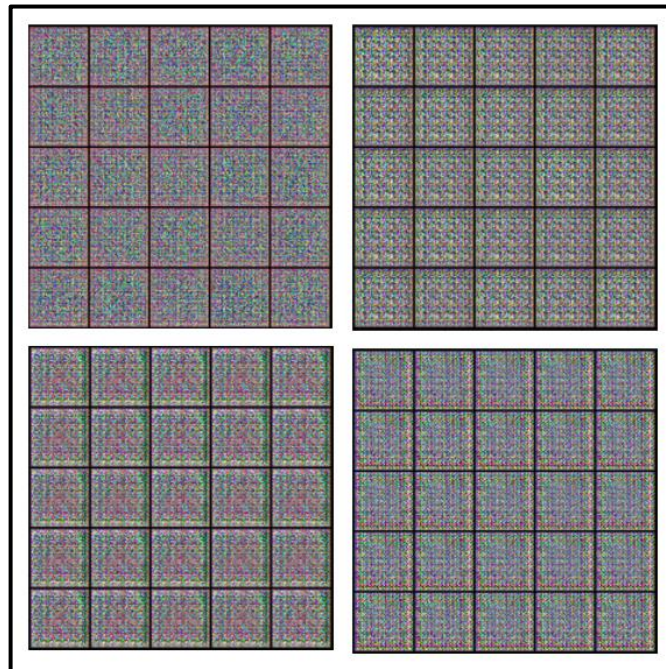
En esta prueba, no se modificó nada con respecto a la prueba II, exceptuando la cantidad de muestras ya nombradas anteriormente, pero las características del

⁷⁴ Radford, Alec, Luke Metz, and Soumith Chintala. 2016. "Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks." 4th International Conference on Learning Representations, ICLR 2016 - Conference Track Proceedings, 1–16.

algoritmo y las imágenes de los rostros continúan totalmente igual. A continuación, se detallará el proceso de las épocas y sus resultados.

En la figura 49, se evidencian las primeras cuatro épocas, el tiempo de procesamiento en estas fue alrededor de una hora y 30 minutos, esto se debe a que el algoritmo para poder realizar el entrenamiento pasa por cada parte de la GAN y por supuesto de la misma, haciendo la comparación y la discriminación de las muestras, para que la red discriminadora pueda escoger qué imágenes y cuáles no, entraran a hacer parte del entrenamiento.

Figura 49. Cuatro primeras épocas de entrenamiento del algoritmo.



Fuente: Autores.

En las siguientes épocas el algoritmo al estar entrenando, va capturando los rostros más representativos, captando las características comunes entre los mismos; nariz, boca, ojos, mejillas, cabello, entre otras. En la figura 50, se evidencian plantillas o bocetos para empezar a formar los rostros resultantes, esto con el fin de tener una base para crear figuras del Boterismo como objetivo del proyecto.

Figura 50. Bocetos creados por el algoritmo.



Fuente: Autores.

En las épocas anteriores se plantearon los bocetos para poder pintar una figura o un rostro en este caso del movimiento artístico de Fernando Botero, sin embargo, a estos rostros, se le deben aplicar algunas otras características que contiene el Boterismo. En la figura 51, se observa que se añaden características como el color, las cejas mejor detalle en los ojos, nariz, boca, cabello, etc. Se puede observar que están mejor formado, también se evidencia que cada rostro trata de tener un fondo totalmente distinto a otro, esto también hace parte del entrenamiento y la discriminación de cada imagen que se tuvo en la etapa de la red discriminativa al momento de comparar cada figura.

Figura 51. Agregando características a los Bocetos.



Fuente: Autores.

En la figura 52, se observa cómo hay una mejora en la parte de las cejas y se incluye mejor color en cada rostro. Hay que tener en cuenta que cada imagen es distinta ya que toma distintas muestras dentro del conjunto de datos, por otro lado, hay deformaciones en ciertas figuras, esto es porque al momento de comparar las imágenes reales con las falsas (ruido), para la red algunas son falsas, pero las aprueba para poder realizar el entrenamiento.

Figura 52. Mejores características a los rostros creados.



Fuente: Autores.

En las etapas de la 14 a la 15 del algoritmo, se observa una mejora en el fondo de cada rostro dentro del recuadro, también en algunos cuadros se añaden características distintivas como un sombrero y una mejor forma en el contorno del cabello. Lo anterior se debe a que en las etapas nombradas están tomando muchas más muestras para poder mejorar cada recuadro y así agregarle características más específicas.

Figura 53. Recuadros mejor formados.



Fuente: Autores.

Finalmente, en la figura 54, se observan las etapas 18, 19 y 20, estas son las resultantes y en efecto es lo que se esperaba del entrenamiento. Efectivamente se evidencia la creación de rostros totalmente distintos, algunos con cabello, otros con poco, unos tienen bigote y el ceño fruncido, el color de piel de la mayoría es acorde a las pinturas de Fernando Botero o de su movimiento artístico, las características distintivas de hombre o mujer en muy pocos rostros se observan, sin embargo, se logra el objetivo esperado del proyecto de grado.

Figura 54. Resultados de la GAN.



Fuente: Autores.

11.2 PRUEBAS DE COMPARACIÓN

En el capítulo anterior, se mostraron las pruebas realizadas y los obstáculos que se tuvieron, sin embargo, se logró el objetivo que fue obtener rostros del movimiento artístico de Fernando Botero o también llamado el Boterismo, como resultado del entrenamiento del algoritmo.

Los resultados que se obtuvieron fueron positivos a simple vista, pero para saber si en realidad es correcto o no, se debe realizar pruebas de eficiencias y comparación con respecto a los cuadros del conjunto de datos, para esto se debe tener en cuenta las métricas de puntaje Inicial (Inception Score) y distancia de inicio Fréchet (Fréchet Inception Distance, FID) con el fin de evaluar los resultados obtenidos por el algoritmo.

Ahora analizando las dos métricas para la medición de la red generativa adversaria que se detallan en el marco teórico, se evidencia que la métrica más completa y detallada para obtener mejores valores como resultados es la Distancia de inicio Fréchet, por su comparación con la media y la covarianza de las imágenes reales y generadas por la red neuronal generadora que se explicó en capítulos anteriores.

Teniendo en cuenta lo anterior y leyendo artículos científicos para poder comprobar resultados óptimos y concretos, se procede a realizar un script en Python para poder tener un valor de FID como resultado de cada época y así tener el coste real de comparación con respecto a las imágenes ingresadas en el conjunto de datos y los rostros de salida que se obtuvo al momento de entrenar el algoritmo.

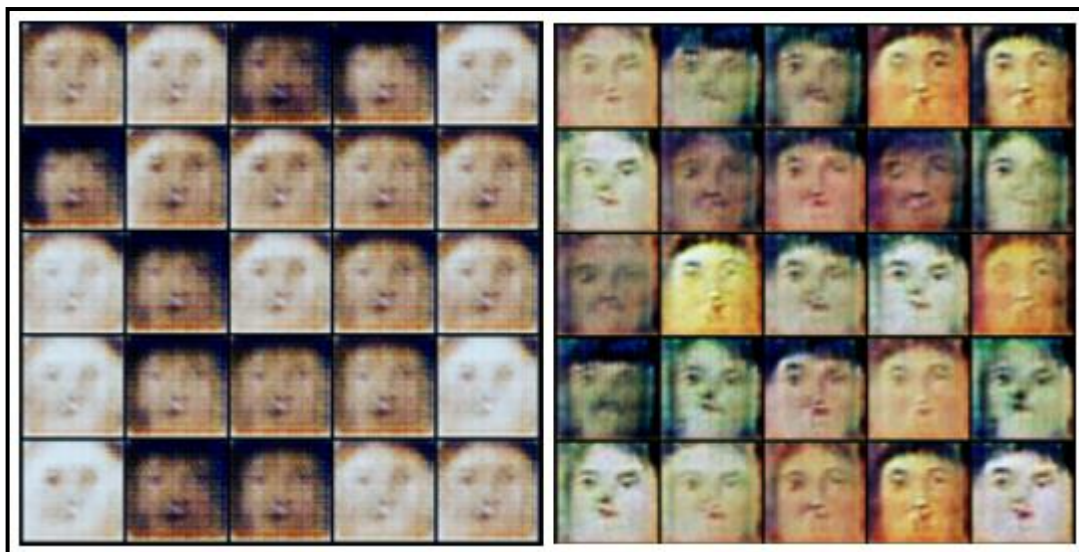
En las siguientes figuras se podrá observar el resultado obtenido por medio del script realizado para calcular el FID y así mismo las épocas más representativas para poder evidenciar la comparación.

Figura 55. Épocas 4 y 5. FID. Izquierda: 480 y FID Derecha: 367.



Fuente: Autores.

Figura 56. Épocas 6 y 9. FID. Izquierda: 335 y FID Derecha: 202.



Fuente: Autores.

Figura 57. Épocas 11 y 15. FID. Izquierda: 127 y FID Derecha: 81.



Fuente: Autores.

Figura 58. Épocas 19 y 20. FID. Izquierda: 27 y FID Derecha: 21.



Fuente: Autores.

Las figuras anteriores hacen referencia a la métrica de evaluación de la GAN al momento de su entrenamiento con el algoritmo explicado en capítulos anteriores. En el instante de calcular los FID de cada época o recuadro generado, se evidencia el valor de cada uno de estos, esto se interpreta como un número el cual decide qué tan claro es el resultado o no, como se menciona en el marco teórico a menor valor

del FID es más clara la época a o imagen generada por el algoritmo. La imagen izquierda de la figura 55, se observa un FID muy alto ya que la imagen generada tiene bastante ruido, por otro lado, en la figura 58, los dos recuadros dentro de esta, tienen un FID bastante bajo a comparación de las figuras anteriores a esta, es por esto que se evidencia un mejor resultado en la figura final.

12. CONCLUSIONES

La implementación de las redes GAN utilizando un conjunto de datos correcto amplio con grandes características y un ajuste adecuado a los parámetros de entrenamiento permite obtener representaciones de cuadros muy similares a los cuadros pintados por el artista Fernando Botero, lo cual permite la conservación a largo plazo de los cuadros o el estilo artístico del artista.

La captura de los rostros tomadas por el algoritmo supuso un gran inconveniente, dada que la resolución expuesta en las capturas de los rostros de los cuadros de Fernando Botero era bastante alta y esto supone que si la imagen se expone a una mayor tamaño o resolución las imágenes sufren una especie de granularidad, la cual compromete la visibilidad del rostro por lo tanto el algoritmo reconocerá un rostro difícilmente, además de esto por la diversidad de tamaños era difícil de procesar en el algoritmo, por esta razón se vio la necesidad de reducir el tamaño de todas imágenes a 166x166 con el fin de suplir el inconveniente.

La base de datos con la que se trabajó en este proyecto tuvo varias dificultades a la hora de ejecutarla con el modelo realizado, debido a que en total solo se obtuvieron 756 rostros de 178 cuadros utilizables de Fernando Botero, esto provoco la utilización de hacer bastantes réplicas de cada foto para llegar a una cantidad considerable con el fin de que el entrenamiento tuviera efecto, y por esto que la escasa cantidad de datos con la que se trabajo pudo ser un limitante a la hora de obtener mejores resultados por los métricas obtenidas, teniendo en cuenta eso con una base de datos con una cantidad considerable podría dar mejores resultados.

En el presente trabajo se evidencia el poder que tienen las GAN y como su uso puede trascender a otras áreas de la tecnología como multimedia, rostros fake etc., y aunque el presente modelo este desarrollado para el uso artístico, puede aplicarse en diferentes trabajos y/o aplicaciones con el fin de seguir haciendo pruebas de eficiencia.

El actual desarrollo está sujeto enteramente a las limitaciones del hardware donde se ejecute el modelo, es por esto que si se quiere obtener resultados más acertados a los cuadros de Fernando se debe contar con un gran procesamiento de imágenes.

13. TRABAJOS FUTUROS

- La GAN al ser un tipo de red neuronal profunda posee la misma característica de flexibilidad la cual confiere su gran ventaja en aplicar otras técnicas para mejorar su funcionamiento, con el fin de mejorar la eficiencia del presente proyecto; la SRGAN la cual es una red generativa contradictoria para superresolución de una sola imagen, puede mejorar las imágenes y resolver el inconveniente visto en el desarrollo del proyecto, por tal razón obtener mejores resultados, de igual forma se puede utilizar este método para hacer replicas no solo de los rostros que pintaba el artista Fernando Botero si no de sus grandes obras artísticas aunque se gran limitación seria la construcción de Base de datos en la cual no es lo bastante grande.
- Este trabajo podría aplicarse para distintos estilos artísticos, lo cual no esta limitado para otro tipo de técnicas representativas del arte como el abstracto, puntillismo, cubismo entre otras. Se espera que otros proyectos enfocados en los mismos ámbitos implementados en el arte, puedan ser unificados con este proyecto, siendo así parte de un sistema que pueda conservar estilos o tipos de arte a través del tiempo.
- El proyecto desarrollado en el presente documento puede llevarse a la industria de la tecnología de tal forma que pueda ser útil al usarlo como herramienta generadora de imágenes sea en la industria de los videojuegos con la creación de personajes, lo cual ayudaría bastante en la creación de esto o incluso en la en el campo multimedia llegando a incluso videos, siendo la tecnología responsable de un futuro donde las imágenes en la red sean más falsas que verdaderas.

14. BIBLIOGRAFÍA

ADP: GANs o redes generativas antagónicas: ¿Qué son y cómo funcionan? [en línea]. Flickr. [Consultado: 05 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.apd.es/gans-o-redes-generativas-antagonicas-que-son/>

Alberto Morales, 2020. "Así se hace una obra de arte." SOHO, Publicaciones Revista Semana, entrevista. <https://www.soho.co/historias/articulo/fernando-botero-muestra-como-hacer-una-obra-de-arte/41546>

Ali, M. et al., 2015. An image watermarking scheme in wavelet domain with optimized compensation of singular value decomposition via artificial bee colony. Information Sciences, 301, pp.44–60. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2014.12.042>.

ARIES: Los formatos más habituales en diseño gráfico [en línea]. Flickr. [Consultado: 02 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://aries.es/los-formatos-mas-habituales-en-diseno-grafico/>

BADARÓ, Sebastián; IBÁÑEZ, Leonardo Javier; AGÜERO, Martín Jorge. Sistemas expertos: fundamentos, metodologías y aplicaciones. Ciencia y tecnología, 2013, no 13, p. 349-364.

BANCO DE LA REPÚBLICA [sitio web]. Bogotá. Banrepcultura. Colección de Arte del Banco de la República. [Consultado: 02 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.banrepcultural.org/coleccion-de-arte/artista/fernando-botero>

Barratt, Shane, and Rishi Sharma. 2018. "A Note on the Inception Score." ArXiv.

Bellas artes". En: Significados.com. Disponible en: <https://www.significados.com/bellas-artes/>

BUHIGAS, Javier. Todo lo que necesitas saber sobre las GAN: Redes Generativas Antagónicas [blog]. Blog Puentes Digitales. España 05 de abril de 2019. [Consultado: 07 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://puentesdigitales.com/2019/04/05/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-las-gan-redes-generativas-antagonicas/>

Calcagni, Laura R. 2020. "Redes Generativas Antagónicas y Sus Aplicaciones."

Chen, Yang, Yu Kun Lai, and Yong Jin Liu. 2018. "CartoonGAN: Generative Adversarial Networks for Photo Cartoonization." Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 9465–74. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00986>.

Clark, Alex. 2020. "Pillow (PIL Fork) Documentation," 149.

CÓDIGO FUENTE: Redes neuronales profundas – Tipos y Características [en línea]. Flickr. [Consultado: 05 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.codigofuente.org/redes-neuronales-profundas-tipos-caracteristicas/#:~:text=Tenemos%20una%20entrada%2C%20una%20salida,de%20capas%20conectadas%20entre%20s%C3%AD>.

DANE. 20 de Julio de 2020. DANE información para todos, Disponible en: <https://n9.cl/25dr>

DANE, 2019. “Tercer reporte de Economía Naranja (2014-2019pr).” <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cultura/economia-naranja>

DE LA FUENTE SANZ, Óscar Martín. Google Colab: Python y Machine Learning en la nube [blog]. Blog Adictos al trabajo. España 04 de junio de 2019. [Consultado: 07 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.adictosaltrabajo.com/2019/06/04/google-colab-python-y-machine-learning-en-la-nube/>

DESARROLLO WEB: Colores RGBA en CSS 3 [en línea]. Flickr. [Consultado: 03 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://desarrolloweb.com/articulos/colores-rgba-css-3.html>

DESARROLLO WEB: Modelos de color [en línea]. Flickr. [Consultado: 01 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://desarrolloweb.com/articulos/1483.php>

D. Erroz Arroyo, “Visualizando neuronas en Redes Neuronales Convolucionales,” pp. 17–20, 2019, [En línea]. Disponible en: https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/33694/memoria_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

El algoritmo “Artificial Bee Colony” (ABC) y su uso en el Procesamiento digital de Imágenes

Erroz Arroyo, David. 2019. “Visualizando Neuronas En Redes Neuronales Convolucionales,” 17–20. https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/33694/memoria_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

ESPAÑOL: Clasificación de las artes [en línea]. Flickr. [Consultado: 15 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.aboutespanol.com/tipos-de-arte-clasificacion-de-las-artes-180288>

ESTRATEGIA MAGAZINE: Los Formatos Gráficos digitales más utilizados [en línea]. Flickr. [Consultado: 04 de marzo de 2021]. Disponible en:

<https://www.estrategiamagazine.com/tecnologia/los-formatos-graficos-mas-utilizados-en-internet-ventajas-desventajas-comparacion-gif-jpeg-jpg-png-bmp/>

FERNÁNDEZ JAUREGUI, Ander. Cómo crear una Red Generativa Antagónica (GAN) en Python [blog]. Blog Data Science. España. 16 de Julio de 2020. [Consultado: 14 de abril de 2021]. Disponible en: <https://anderfernandez.com/blog/como-crear-una-red-generativa-antagonica-gan-en-python/>

Fernando Gómez Echeverri, 2015. “Fernando Botero, el artista colombiano más grande de todos los tiempos.” EL TIEMPO, entrevista. <https://www.eltiempo.com/cultura/fernando-botero-el-artista-colombiano-mas-grande-de-todos-los-tiempos-538439>

GARCÍA, Alberto. Inteligencia Artificial. Fundamentos, práctica y aplicaciones. Rc Libros, 2012.

Generales, Conceptos. n.d. “Visión Artificial.” Disponible en: <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>

GENERALIDADES DEL ARTE: Clasificación de las Artes [en línea]. Flickr. [Consultado: 7 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/apreciacionexpressarte/home/primeras-manifestaciones-artisticas/las-funciones-del-arte/clasificacion-de-las-artes>

Hatata, A.Y. & Sedhom, B.E., 2017. Proposed Sandia frequency shift for anti-islanding detection method based on artificial immune system. Alexandria Engineering Journal.

Heusel, Martin, Hubert Ramsauer, Thomas Unterthiner, Bernhard Nessler, and Sepp Hochreiter. 2017. “GANs Trained by a Two Time-Scale Update Rule Converge to a Local Nash Equilibrium.” Advances in Neural Information Processing Systems 2017-December (Nips): 6627–38.

HISOUR HI SO YOU ARE: Modelos de color [en línea]. Flickr. [Consultado: 01 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.hisour.com/es/color-model-26071/>

Islam, S. et al., 2014. Solid waste bin detection and classification using Dynamic Time Warping and MLP classifier. Waste Management, 34, pp.281–290.

Jhon Caicedo, ¿Qué es la “Economía Naranja”, Disponible en: <https://www.johncaicedo.com.co/2018/08/13/que-es-la-economia-naranja/>

Ji, Yuwang, Qiang Wang, Xuan Li, and Jie Liu. 2019. “A Survey on Tensor Techniques and Applications in Machine Learning.” IEEE Access 7: 162950–90. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2949814>.

J. Nagi et al., "Max-pooling convolutional neural networks for vision-based hand gesture recognition," 2011 IEEE Int. Conf. Signal Image Process. Appl. ICSIPA 2011, no. November, pp. 342–347, 2011, doi: 10.1109/ICSIPA.2011.6144164.

KARKARE, Prateek. Neural Style Transfer — Using Deep Learning to Generate Art [blog]. Blog Medium. Bengaluru, Karnataka, India. 06 de septiembre de 2019. [Consultado: 20 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://medium.com/x8-the-ai-community/neural-style-transfer-using-deep-learning-to-generate-art-651d9ccf740c>

KINARIWALA Tejesg. Generating art from neural networks [blog]. Blog Worldquant. India. 16 de diciembre de 2019. [Consultado: 25 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.weareworldquant.com/en/thought-leadership/generating-art-from-neural-networks/>

LA ENCICLOPEDIA LIBRE WIKIPEDIA: Lógica difusa [en línea]. Flickr. [Consultado: 05 de marzo de 2021]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_difusa

LA ENCICLOPEDIA LIBRE WIKIPEDIA: Modelo de color RGBA - RGBA color model [en línea]. Flickr. [Consultado: 02 de marzo de 2021]. Disponible en: https://es.mihalicdictionary.org/wiki/rgba_color_model

LINKFANG: Espacio de color RGBA [en línea]. Flickr. [Consultado: 03 de marzo de 2021]. Disponible en: https://es.linkfang.org/wiki/Espacio_de_color_RGBA

LOGO-ARTE: Modelos reproductivos del color: RGB, CMYK y LAB [en línea]. Flickr. [Consultado: 02 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.logo-arte.com/blog-6.htm>

Lucic, Mario, Karol Kurach, Marcin Michalski, Olivier Bousquet, and Sylvain Gelly. 2018. "Are Gans Created Equal? A Large-Scale Study." Advances in Neural Information Processing Systems 2018-December (Nips): 700–709.

Lluesma Martí, E. (2019). Detección de puntos clave en caras mediante redes neuronales profundas. <http://hdl.handle.net/10251/127854>

Mashaly, A.F. & Alazba, A.A., 2016. MLP and MLR models for instantaneous thermal efficiency prediction of solar still under hyper-arid environment. Computers and Electronics in Agriculture, 122, pp.146–155.

Mavrovouniotis, M., Li, C. & Yang, S., 2017. A survey of swarm intelligence for dynamic optimization: Algorithms and applications. Swarm and Evolutionary Computation journal, 33(January), pp.1–17.

Mercado Polo, Darwin, Luis Pedraza Caballero, and Edinson Martínez Gómez. 2015. "Comparison of Neural Network Applied to Prediction of Time Series." *Prospectiva* 13 (2): 88.

MERINO, Marcos. Conceptos de inteligencia artificial: qué son las GANs o redes generativas antagónicas [blog]. Blog Xataka. España 31 de marzo de 2019. [Consultado: 05 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.xataka.com/inteligencia-artificial/conceptos-inteligencia-artificial-que-gans-redes-generativas-antagonicas>

Mirjalili, Seyedali. 2019. "Genetic Algorithm." *Studies in Computational Intelligence* 780: 43–55. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93025-1_4.

M. Mirza B. Xu D. Warde-Farley S. Ozair A. Courville I. J. Goodfellow, J. Pouget-Abadie and Y. Bengio. Generative adversarial nets. In *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS)*, abs/1406.2661, 2014.

Nebti, S. & Boukerram, A., 2017. Swarm intelligence inspired classifiers for facial recognition. *Swarm and Evolutionary Computation*, 32, pp.150-166. [Links]

"Neural Style Transfer — Using Deep Learning to Generate Art." 2020, 1–9.

Ngan, S., 2017. A unified representation of intuitionistic fuzzy sets , hesitant fuzzy sets and generalized hesitant fuzzy sets based on their u-maps. , 69, pp.257–276.

Números, I A D E. 2014. "INTRODUCCIÓN A LA VISIÓN ARTIFICIAL," no. November: 2–4. <https://doi.org/10.13140/2.1.1072.6722>.

Pena-Cabrera, Mario, Victor Lomas, and Gaston Lefranc. 2019. "Fourth Industrial Revolution and Its Impact on Society." *IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies, CHILECON 2019* 04500: 1–6. <https://doi.org/10.1109/CHILECON47746.2019.8988083>.

¿Qué es arte?: Arte figurativo, figurativismo o arte representacional [en línea]. Flickr. [Consultado: 10 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://queesarte.com/arte-figurativo-figurativismo-o-arte-representacional/>

Radford, Alec, Luke Metz, and Soumith Chintala. 2016. "Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks." *4th International Conference on Learning Representations, ICLR 2016 - Conference Track Proceedings*, 1–16.

REPRODART: Estilos artísticos y épocas [en línea]. Flickr. [Consultado: 29 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.reprodart.com/a/estilos-artisticos/>

Revista DINERO, Así es como el arte se está volviendo un gran negocio en Colombia, Sección Arte, Disponible en: <https://www.dinero.com/edicion->

impresa/negocios/articulo/asi-fue-que-el-arte-se-volvio-un-buen-negocio-en-colombia/269804

Reyes, Oscar, Marcela Mejia, and Juan Sebastián Useche-Castelblanco. 2019. "Técnicas de Inteligencia Artificial Utilizadas En El Procesamiento de Imágenes y Su Aplicación En El Análisis de Pavimentos / Article in Press Artificial Intelligence Techniques Used in the Processing of Images and Its Application in Pavement Analysis." *Revista EIA* 16 (31): 189–207.

RotulArte Producción Gráfica Integral, 2015. "Cómo realizar una reproducción de una obra de arte." <https://www.rotularte.com.ar/como-realizar-una-reproduccion-de-una-obra-de-arte/>

Ruiza, M., Fernández, T. y Tamaro, E. (2004). Fernando Botero. Biografía. En *Biografías y Vidas*. La enciclopedia biográfica en línea. Barcelona (España). Disponible en: https://www.biografiasyvidas.com/reportaje/fernando_botero/

S. Khan, H. Rahmani, S. A. A. Shah, and M. Bennamoun, "A Guide to Convolutional Neural Networks for Computer Vision," *Synth. Lect. Comput. Vis.*, vol. 8, no. 1, pp. 185-187, 2018, doi: 10.2200/s00822ed1v01y201712cov015.

Smirnov, Stanislav, and Alma Eguizabal. 2018. "Deep Learning for Object Detection in Fine-Art Paintings." 2018 IEEE International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, MetroArchaeo 2018 - Proceedings, 45–49. <https://doi.org/10.1109/MetroArchaeo43810.2018.9089828>.

Tan, J.H. et al., 2017. Segmentation of optic disc, fovea and retinal vasculature using a single convolutional neural network. *Journal of Computational Science*.

Tellus, Nova, and Distrito Federal. 2012. "El Concepto de Belleza En El Mundo Antiguo y Su Recepción En Occidente The Concept of Beauty in the Ancient World and Its Reception in the West" 30: 133–48.

TEN TU LOGO: Qué es Deep Learning y cómo afecta a tus redes sociales [en línea]. Flickr. [Consultado: 05 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://tentulogo.com/que-es-deep-learning-y-como-afecta-a-tus-redes-sociales/>

TIPOS DE ARTE: Arte figurativo ¿Qué es? [en línea]. Flickr. [Consultado: 07 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://tiposdearte.com/arte-figurativo-que-es/>

TODO A CUADROS: Generos pictóricos y temas [en línea]. Flickr. [Consultado: 26 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.todocuadros.com.co/generos-temas/>

Tutorialspoint. 2019. "About the Tutorial Copyright & Disclaimer." *Tutorials Point (I) Pvt. Ltd.*, 1–13.

VIECO, Jesús. Tutorial: Introducción a PyTorch (II), primera red neuronal [blog]. Blog Cleverpy. México 26 de febrero de 2019. [Consultado: 05 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://cleverpy.com/primera-red-neuronal-con-pytorch/>

Wainschenker, Rubén. 2011. "Procesamiento Digital de Imágenes Objetivos de La Materia." Pag 4-7. Disponible en: <http://www.exa.unicen.edu.ar/catedras/pdi/FILES/TE/CP1.pdf>

WIKIPEDIA: Fernando Botero [en línea]. Flickr. [Consultado: 02 de marzo de 2021]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Fernando_Botero

WORDPRESS: Representación de imágenes [en línea]. Flickr. [Consultado: 04 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://representacionima.wordpress.com/formatos-graficos/>

Yang, Xin, Yuezun Li, Honggang Qi, and Siwei Lyu. 2019. "Exposing GAN-Synthesized Faces Using Landmark Locations." IH and MMSec 2019 - Proceedings of the ACM Workshop on Information Hiding and Multimedia Security, no. March: 113–18. <https://doi.org/10.1145/3335203.3335724>.

Y. Ren, C. Zhu, and S. Xiao, "Object Detection Based on Fast/Faster RCNN Employing Fully Convolutional Architectures," Math. Probl. Eng., vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/3598316.

ZONAIA: Comunidad de servicios, aprendizaje y ayuda sobre chatbots [en línea]. Flickr. [Consultado: 05 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://zonaia.com/tutoriales-machine-learning/redes-neuronales-profundas/>